



EESTI MAAÜLIKOOL
Põllumajandus- ja keskkonnainstituut

Rünno Pregel

**PESTITSIIDIJÄÄKIDE MÕJU JA LEVIK VAHAST
MESILASEMADENI**

**IMPACT AND SPREAD OF PESTICIDE RESIDUES FROM
WAX TO HONEY BEE QUEENS**

Bakalaureusetöö
Põllumajandussaaduste tootmise ja turustamise õppekava

Juhendajad: teadur Risto Raimets, PhD
vanemteadur Reet Karise, PhD

Tartu 2021

LÜHIKOKKUVÕTE

Eesti Maaülikool Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Bakalaureusetöö lõputöö lühikokkuvõte	
Autor: Rünno Pregel		Õppekava: Põllumajandussaaduste tootmine ja turustamine	
Pealkiri: Pestitsiidijääkide mõju ja levik vahast mesilasemadeni			
Lehekülgi: 48	Jooniseid: 7	Tabeleid: 0	Lisasid: 1
Osakond / Õppetool: Põllumajandus- ja keskkonnainstituut ETIS-e teadusvaldkond ja CERCS kood: B390 Taimekasvatus, aiandus, taimekaitsevahendid, taimehaigused Juhendajad: Reet Karise, Risto Raimets Kaitsmiskoht ja -aasta: Tartu 2021			
Lühikokkuvõte <p>Põllumajanduses võetakse jätkuvalt kasutusele üha rohkem pestitsiide, mille jäägid kanduvad edasi keskkonda, kuhu need ei kuulu. Üht suurimat kahju seoses pestitsiidide jääkide levikuga kannatavad mesilased, kuna pestitsiidid mõjutavad mesilase erinevaid parameetreid. Antud töö eesmärgiks on uurida insektistiid tau-fluvalinaadi ja fungitsiid tebukonasooli levikut mesindussaaduste vahel ning nende kahe aine mõju mesilasema arengule. Pestitsiidide leviku katses valmistati mahevahast mesilasema kuppe, kuhu segati sisse erinevates kontsentratsioonides pestitsiide ning jälgiti nende levikut kuppust mesindussaaduste vahel. Mesilasema arengu katses jälgiti, kuidas samad pestitsiidide kontsentratsioonid ja segud mõjusid mesilasema vastuvõtule ammperes, koorumisele ning kehamassile.</p> <p>Tulemustest selgub, et tau-fluvalinaadi ($15 \mu\text{g kg}^{-1}$) ja tebukonasooli ($412 \mu\text{g kg}^{-1}$) segu põhjustas mesilasema vastuvõtule ja koorumisele olulist mõju. Üksiku ainetena tõstis tebukonasool vastuvõttu ja koorumist 10% võrreldes kontrollgrupiga. Pestitsiidide leviku katses levis kirjeldatud segu võrdlemisi hästi edasi, jõudes mesilasvahast toitepiima ning väikeses koguses ka mesilasema vastseteni. Tebukonasool ja tau-fluvalinaat üksikute ainetena levisid mesindussaaduste vahel halvemini kui segus.</p>			
Märksõnad: mesilasemad, pestitsiidijäägid, vaha, mesilasema toitepiim			

ABSTRACT

Estonian University of Life Sciences Kreutzwaldi 1, Tartu 51014		Abstract of Bachelor's Thesis	
Author: Rünno Pregel		Curriculum: Production and marketing of agricultural products	
Title: Impact and spread of pesticide residues from wax to honey bee queens			
Pages: 48	Figures: 7	Tables: 0	Appendixes: 1
Department / Chair: Institute of Agriculture and the Environment / Chair of Plant Health			
Field of research and (CERCS) code: B390 Phytotechny, horticulture, crop protection, phytopathology			
Supervisors: Reet Karise, Risto Raimets			
Place and date: Tartu 2021			
<p>An increasing number of pesticides continue to be used in agriculture, with residues being transferred to non-target environments. Pesticides negatively affect different bee parameters. The aim of this study was to determine the distribution of insecticide tau-fluvalinate and the fungicide tebuconazole between apicultural products and the effect of these two substances on queen bee development. In the pesticide spread test, beeswax cups were made off organic wax, in which pesticides were mixed in different amounts and mixtures, and their spread from the cups to the royal jelly, and then to the larvae and to the matures queens was monitored. In the queen bee development experiment, the effects of the same pesticide concentrations and mixtures on bee acceptance, hatching and body weight were observed.</p> <p>The results show that a mixture of tau-fluvalinate (15 µg kg⁻¹) and tebuconazole (412 µg kg⁻¹) caused significant damage to queen acceptance and hatching. Separately, tebuconazole increased acceptance and hatching by 10% compared to control group . In a pesticide spread test, the described mixture spread relatively well, reaching from beeswax to royal jelly but was remarkably low in queen larvae and adults. The two pesticides were less widespread than expected in apiculture products. The study concludes that the spread of pesticide residues is not continuous and the developing queen bodies are clean. Despite the fact, there was an effect on developing queens, especially in case of combination of fungicide and the insecticide.</p>			
Keywords: honey bee queens, pesticide residues, wax, royal jelly			

SISUKORD

SISSEJUHATUS	6
1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE.....	8
1.1.Meemesilase olulisus.....	8
1.2. Mesilasemad	9
1.3. Meemesilaste arvukuse langus	10
1.4. Meemesilaste arvukuse languse võimalikud põhjused.....	11
1.5. Pestitsiidid mesinduses ja põllumajanduses	14
1.6. Pestitsiidide jäägid mesindussaadustes.....	16
1.7. Pestitsiidide subletaalsed mõjud mesilasemadele	19
1.8. Pestitsiidide liikumine mesindussaaduste vahel	20
2. MATERJAL JA METOODIKA.....	25
2.1. Mesilasemad ja vaha.....	25
2.2. Kasutatud pestitsiidid	25
2.3. Mahevahast kuppude valmistamine.....	25
2.4. Vageldamine ja ammperedesse tõstmine.....	26
2.5. Pestitsiidijääkide analüüs mesindussaadustes	26
2.6 Andmete statistiline analüüs.....	26
3. TULEMUSED	27
3.1. Tau-fluvalinaadi ja tebukonasooli mõju mesilasema arengule.....	27
3.1.1. Mesilasemade kuppude vastuvõtt.....	27
3.1.2. Tau-fluvalinaadi ja tebukonasooli mõju mesilasemade koorumisele.....	28
3.1.3. Tau-fluvalinaadi ja tebukonasooli mõju mesilasemade kehamassile	29
3.2. Tau-fluvalinaadi ja tebukonasooli levik mesindussaaduste vahel	30
3.2.1. Kontrollgrupp	30
3.2.2. Tau-fluvalinaadi töötlusgrupp	31
3.2.3. Tebukonasooli töötlusgrupp	32
3.2.4. Tau-fluvalinaadi ja tebukonasooli segu töötlusgrupp.....	33
4. ARUTELU	34
KOKKUVÕTE	38
KASUTATUD KIRJANDUS	40

LISAD	47
Lisa 1. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks (avaldamise tähtajaline piirang) ning juhendaja(te) kinnitus töö kaitsmisele lubamise kohta.....	48

SISSEJUHATUS

Mesilased on üheks peamiseks lüüsisambaks kogu maismaa biosfääris, kuna nemad tolmeldavad enamuse looduslikest ning põllumajanduslikest õistaimedest [25]. Hinnanguliselt 87,5% maailma õistaimedest tolmeldatakse putukate poolt, mille juures mesilaste mõju on väga suur [3]. Mesilaste mõjud bioloogilisele mitmekesisusele on oma keerukuse tõttu vaid osaliselt lahti mõtestatud. Tänapäeval soovitakse kõike mõõta rahalises väärtuses, kuid mesilaste mõju Maa ökosüsteemidele pole suudetud külge riputada rahalist hinnasilti [15]. Siiski on teadlaste hinnangul tolmeldajate otsene mõju maailma põllumajandusele 153 miljardit eurot [48], mis igal aastal tõuseb tõenäoliselt üha kõrgemaks.

Mesilaste tähtsust ja väärtust on raske ülehinnata, seda enam tekitab muret viimastel kümnenditel täheldatud nende suur arvukuse langus, mida on näidanud paljud uuringud [11, 36]. Põhjuseid arvukuse languseks on mitmeid: haigused, parasiidid, nälga jäämine, pestitsiidide toksilisus ja nõrgad mesilasemad [50]. Neid põhjuseid on veelgi ning neist antakse töös põgus ülevaade.

On ilmne, et pestitsiidid ja nende jäägid ei kao keskkonnast veel niipea. Pestitsiide kasutatakse jätkuvalt tõusvas trendis – Euroopa Liidu põllumajanduses kasutati 1999. aastal 320 000 t pestitsiide [51] ning vahepealse ajaga on need kogused kasvanud üle 380 000 tonni [70]. Teisalt on pestitsiidide jäägid väga püsivad keskkonnas. Loodusest ja tarudest on leitud pestitsiidide jälgi, mis on aastakümneid olnud keelu all. Samamoodi käituvad ka tänapäevased pestitsiidid, mis peaks olema vähem ohtlikud, kuid siiski nad püsivad edukalt looduses ja mesindussaadustes [62]. Pestitsiidide jäägid jõuavad mesilasperedeni erinevaid teid pidi ning akumulerevad mesindussaadustes [67]. Pestitsiidide kuhjudes näiteks mesilasvahasse või mette, võivad hakata need edasi liikuma haudmesse, suira või ka mesilasemadesse, mis omakorda võib põhjustada viimastel muutusi näiteks arengus. Kuigi pestitsiidide mõjusid mesilase arengule on jälgitud, on peamised tööd tehtud töomesilastega ning vaid mõned üksikud mesilasemadega. Seetõttu ei ole ka piisavalt infot, kuidas pestitsiidid mitmekaupade mesilasemasid mõjutavad. Pestitsiidijääkide liikumist ühest materjalist teise on mõnevõrra uuritud, kuid süsteemne

ülevaade läbi emade kasvamisega kokku puutuvate materjalide kuni vaklade kehasse jõudmisene on tegelikult puudu.

Antud töö eesmärgiks oli uurida, kas ja millistes kontsentratsioonides liiguvad pestitsiidid saastunud vahast edasi mesilasema toitepiima, mesilasema vakladesse/nukkudesse ja valmikutesse. Teiseks eesmärgiks oli uurida pestitsiidide mõju mesilasema arengule – täpsemalt mõju kuppude vastuvõtule, koorumisele ning kehamassile.

Esimeseks hüpoteesiks oli, et pestitsiidide jäägid levivad mesilasvahast edasi mesilasema toitepiima, vakladesse/nukkudesse ning jõuavad ka mesilasemade valmikutesse.

Teiseks hüpoteesiks oli, et pestitsiidid mõjuvad negatiivselt emakuppude vastuvõtule, koorumisele ning pestitsiidid alandavad mesilasemade valmikute kehamassi.

Avaldan tänu järgmistele isikutele, kes on mind bakalaureusetöö tegemisel aidanud.

Risto Raimets, kes oli minu töö juhendaja, aitas töö ülesehitusega, katsetega ja mõtestas selgemini lahti mesilaste maailma.

Reet Karise, oli töö kaasjuhendaja, kes aitas paremini esile tuua töö peamisi eesmärke. Lisaks aitas – andmetöötlusega ja töö vormistusega.

Emade kasvatuse juures abistasid mind **Risto Raimets ja Mairolt Jürison**.

Käesoleva töö valmimist toetas rahaliselt Euroopa Regionaalarengu Fond koos Eesti Teadusagentuuriga (ETAg) RITA projekt Forbee.

1. KIRJANDUSE ÜLEVAADE

1.1.Meemesilase olulisus

Läbi pika ajaloo on inimene pidanud meemesilasi (*Apis mellifera*) ning viinud seda liiki kaasa kõikjale, kuhu inimene on ise rännanud. Tänu sellele on meemesilane levinud kõikidele kontinentidele, välja arvatud Antarktika. Ilma tolmeldajateta ei suudaks 87,5% õistaimedest paljuneda, sealhulgas omab meemesilane ülimalt tähtsat rolli kogu Maa ökosüsteemis [3].

Meemesilased on sotsiaalsed putukad, kes elavad suurtes kolooniates, mis koosneb ühest emast, kuni mõnest tuhandest isamesilastest ning kümnetest tuhandetest töölismesilastest. Mesilasema ja isamesilaste ainsaks ülesandeks on toota järglasi. Töölismesilastel on ülesandeid aga palju enam. Nemad peavad ehitama vahast kärgesid, käima korjel, tegema õienektarit jm taimeeritistest mett, hoolitsema haudme eest, kaitsma emamesilast ja kogu kolooniat ning tagama puhtust [54].

Lihtvaade mesilaste kasulikkusele on, et inimene saadab toiduks mett ja terviseturgutamiseks taruvaiku. Tegelikkuses on aga saadav kasu hoopis laiaulatuslikum. Õitsvatest põllumajandus- ja aiandussaadustest 80% tolmeldatakse meemesilase poolt. Lisaks vajavad tolmeldamist paljud loomasöödaks kasutatavad taimeliigid: näiteks ristikud, lutsernid, sojaoad. Üsna märkamatu on ka mesilaste panus kogu õitsva taimeistiku eluspüsimisele, mis omakorda tagab inimkonnale hädavajaliku liikide mitmekesisuse ning ka hapniku [54]. On ilmne, et meemesilased kujutavad endast äärmiselt tähtsat lüli eluslooduse püsimisel.

1.2. Mesilasemad

Mesilaspere peale on vaid üks emamesilane, kes muneb mitme põlvkonna järglased ning, kes oma lõhnaferomoonidega hoiab ära uue emamesilase tekke. Need takistavad ka töomesilastel munasarjade arengut. Vastasel korral vahetuks mesilasema liiga tihti või hakkaksid töömesilased munema viljastamata mune, millest areneks nõ küürakhaue [2]. Mesilasemad on välimuselt sarnased töomesilastele, kuid nad on tunduvalt suuremad. Mesilasema kaalub 150-250 mg, kui töomesilane jääb vahemikku 80-110 mg. Emamesilastel on suur tagakeha, kus on hästi väljaarenenud suguelundid [5].

Mesilasemade põhiliseks ülesandeks mesilaspere on järglaste saamine [3, 15]. Kõik algab emamesilase paaritumisest. Tarudes on selleks üles kasvatatud paar tuhat isamesilast, kelle ainsaks ülesandeks on paaritada mõni emamesilane. Sügise saabudes nad heidetakse tarust välja ja talvituma neid ei jäeta. Paaritumiseks lendavad isamesilased koos emaga tarust välja, kõrgele taevasse, kus toimub paarumine. Konkreetset kirjeldust ei oska ka teadlased öelda, sest seda on väga keeruline jälgida. Teadaolevalt paaritunud isamesilane hukub, ning emamesilane paarub paarumislennu käigus mitme isamesilasega [74]. Emamesilased on viljakad – kuni kolmanda eluaastani, peale seda üldjuhul vahetab pere ta välja, kui seda pole juhtunud varem [2].

Mesilasema muneb päevas 2000-2500 uut muna [78]. Mesilasema muneb kahesuguseid mune – viljastatud munadest arenevad töomesilased ja emamesilased ning viljastamata munadest lesed. Munad munetakse kärjekannudesse ning umbes 7 päeva pärast need kaanetatakse vahaga kinni. Mõne päevaga areneb välja vagel, keda tarus olevad töomesilased hakkavad toitma. Nii töölis-, isa- kui ka emamesilaste vaglad on samasugused, kuid neid hakatakse toitma erinevate söötadega. Mesilasema toitepiim on mõeldud eelkõige emamesilase vakladele ja see on väga toitainete rikas [5].

1.3. Meemesilaste arvukuse langus

Viimastel kümnenditel on üle maailma tulnud teateid paljudest hukkunud või teadmata põhjustel kaduma läinud mesilasperedest. Need surmad avaldavad suurt mõju ökosüsteemidele ja põllumajandusele, mis paljuski toetuvad tolmeldajatele [10].

Prantsusmaal tehtud uuringus – (talvel 1999/2000) täheldati mesilasperede talviste hukkumiste ja tarude hülgamiste sagenemist. Mõned mesilaste pidajad olid kaotanud 100% peredest. Samas töös uuriti 41 erinevas piirkonnas olevat mesilast ning 76% peredest avastati vähemalt üks või mitu haigust, mis põhjustavad perede hukkumist ja kadumist. Näiteks Varroalest (*Varroa destructor*, Anderson & Trueman 2000), nosemoos, Euroopa ja Ameerika haudemädanik. Kõikidest probleemsetest tarudest võeti proove nii surnud mesilastelt kui ka vahast pestitsiidide jääkide tuvastamiseks. Kokku leiti 31 erinevat pestitsiidi, mille kogused ulatusid 0,001 mg kuni 0,3 mg kg⁻¹ kohta. Mesilasperede huku põhjusteks pakuti välja haiguste ja parasiitide levikut ning mõnda seni tundmata kemikaali [42].

Ameerika Ühendriikide 15-s osariigis läbi viidud uuringus leiti, et ajaperioodil, sügis 2006 kuni märts 2007, kaotasid mesinikud keskmiselt 38% peredest. Hukkunud mesilasperede arv erinevate piirkondade vahel kõikus 7%-80% perede koguarvust. Kokku hukkus või kadus hinnaguliselt 651,000 kuni 875,000 mesilasperet. Rohkem kui 50% mesinikest märkisid ebanormaalselt suurt mesilasperede hukkumist/kadumist. Normaalseks peeti olukorda, kus 16% mesilasperedest hukkus. Mesinikest 60% nägid enda mesilasperede seas pere kollapsi sündroomi (CCD – *Colony collapse disorder*) sarnaseid tunnuseid, ülejäänud ei olnud probleemis kindlad [53].

Maailma suurima rahvastikuga riigis – Hiinas, peab mesilasi üle 200 tuhande inimese ning neil on kokku 6 miljonit mesilasperet, (2010. aasta seisuga) [27]. Hiinas puudus varasem laiapindne uurimus mesinike seas. Aastatel 2010-2013 viidi esmakordselt läbi küsitlusuuring, kus osales üle kolme tuhande mesiniku 12-st erinevast provintsist, kellel kokku oli üle 300 tuhande mesilaspere. Kolme aasta keskmine perede suremus oli 10,1% igas mesilas. Uuringus täheldati suurimat suremust aastatael 2011-2012, kusjuures märksa

suurem suremus oli suurmesinike (üle 500 taru) seas – (17,4% peredest hukkus). Väikemesinikud (alla 50 taru) kaotasid samal aastal 8,1% mesilasperedest. Kokkuvõttes hinnati perede hukkumist küllaltki madalaks, mis arvati tulenevat asjaolust, et Hiinas on mesinikel suhteliselt väikese arvulised mesilad [29].

Aastatel 2013-2017 viidi Brasiilias läbi küsitlusuuring, kus uuriti mesilasperedes hukkumise arvu ning oletatavaid põhjuseid. Kokku küsitleti 322 mesinikku, kellel oli kokku 37 453 mesilasperet. Viienda aasta lõpuks olid nad tervikuna kaotanud 19 296 peret. Üksikutel aastatel olid hukkunud perede arv 54,9%- 70,5%. Viie aasta keskmine mesilasperedes hukkumise protsent jäi 49,3%-54,6% vahele. Brasiilia puhul täheldati suuremat hukkumise taset väikemesinike poolt hallatavates mesilastes. Üleriigiliselt regioonide vahel märgatavaid erisusi ei olnud. Peamiseks hukkumise põhjuseks pidasid mesinikud pestitsiide. Kõige enam mainiti fiproniili – (putukamürkides kasutatav toimeaine); imidaklopridi, tiametoksaami ja klotianidiini, mis on neonikotinoidsete insektitsiidide toimeained [18].

Austrias viidi 2018/2019 aastal läbi uuring, kus osales 1534 mesinikku, kellel oli kokku 33 651 mesilasperet. Talvitumisel hukkus 5293 mesilasperet. Uurimust võrreldi varasemate aastate töödega ja leiti, et talvine hukkunud perede arv oli tavapärane. 69,7% uuringus osalenud mesinikest ei kaotanud mitte ühtegi mesilasperet või jäi see number alla 20%. Lisaks ei esinenud ka erakordselt suurt mesilaste hukkumist mõnes kindlas piirkonnas. Tähelepanuväärne on mesilaste hukkumise protsent maisipõldude lähedal. Mesilad, mis asusid maisipõllu lähedal näitasid statistiliselt vähemalt 5% kõrgemat suremust kui need mesilad, mille lähedal polnud maisipõlde. Sama trend avaldus kogu riigis. Fenomeni põhjustas maisi töötlemine neonikotinoidsete insektitsiididega, mis on mesilastele väga toksilised [12, 23].

1.4. Meemesilaste arvukuse languse võimalikud põhjused

Meemesilaste suurem arvukuse langus Euroopas ja Ameerikas kerkis esile 2000. aastate alguses. Sellest ajast saati on mesilasperedes hukkumised aina sagenenud [57]. Peamisteks põhjusteks on teadlaste poolt välja toodud- kehvad talvitumistingimused nagu vale niiskusrežiim, liiga madal või kõrge temperatuur; nõrgad mesilasemad; nälga jäämine

talvel; haigused; parasiidid; pestitsiidid; viirused ja kliimamuutused. Mitme probleemi korraga esinemisel hukuvad mesilaspered suurema tõenäosusega [50].

Esmalt tasub välja tuua kehvad talvitumistingimused, mille all peamiselt mõeldakse mesilaspere suurust ja toidu tagavarasid [37]. Suuremad pered kasutavad efektiivsemalt oma toidutagavarasid kui väiksemad mesilaspered ning seega on toidu *per capita* kulu mesilase kohta väiksem [45]. Suuremad mesilaspered elavad talve kindlamalt üle ning annavad lõppkokkuvõttes ka suuremat saaki suvel. Viidatud töös uuriti mesilaspere kaalu mõju talvitumisele. Pered, mille kogukaal koos korpustaru enda kaaluga, oli rohkem kui 22,5 kg, oli 90% tõenäosus jääda talvel ellu. Mesilaspered, mille taru kogukaal oli alla 18 kg, oli tõenäosus ellu jääda vaid 27%. Uuringus toodi veel välja, et ainult sügisene õietolmu ja toitainete kättesaadavus ei paranda talvitumist. Mesinikud peavad looma häid tingimusi haudme kasvuks juba kevadel ja suvel, ning hoidma tarusid terve hooaja vältel rikkalike korjamaade läheduses, et mesilaspere saaks vajalikud toitained kätte [45]. Teadlased on huvitava leiuna avastanud, et talvitumist aitab parandada mesilaspere töötlemine sünteetilise haudumist soodustava feromooniga, siis nad tarbivad rohkem lisaöödana antud proteiini. Kui seda teha hooaja vältel, siis suureneb mesilaspere tootlikus, pere suurus ning talvitumiskindlus [22].

Teiseks suureks meemesilaste kadumise põhjuseks on peetud mesilaspere kollapsi sündroomi (*CCD – Colony Collapse Disorder*). Iseenesest ei ole tegu mõne konkreetse haigustekitajaga, vaid teatud sarnaste sümptomite esinemisega mesilasperel. Esmalt väga suur hulk töomesilastest on kadunud, kuid tarus on alles väga palju hauet. Teiseks ei ole nii-öelda haiges tarus ega taru ümbruses näha hukkunud mesilasi. Kolmandaks tavapärasest hilisem tarukahjurite sissetung ning hilinenud kleptoparasitism naabruses asuvatest mesilasperedest. Taolisi sümptomeid kirjeldati esimest korda USA-s 2006/2007 aastal. Veebruaris 2007 teatasid paljud suurmehinikud erinevatest USA osariikidest, et nad on kaotanud 30-90% oma mesilasperedest. Peamiseks põhjuseks peeti mesilaspere kollapsi sündroomi [53].

Kolmandaks meemesilaste arvukuse languse põhjuseks on erinevad haigused ja parasiidid. Üheks probleemsemaks parasiidiks on varroalest (*Varroa destructor*), mis on levinud pea ülemaailmselt. Varroalest toitub mesilaste ja haudme hemolüfist, mille tagajärjel väheneb nende kehakaal, laguneb keha proteiin, takistub organite areng ning lõpuks mesilane sureb. Varroalestaga käivad alati kaasas erinevad viirused nagu näiteks, deformeerunud

tiivaviirus (*DWV – Deformed Wing Virus*) ning äge mesilaste halvatusviirus (*ABPV – Acute Bee Paralysis Virus*). Varroalest kannab viiruseid kiiresti tervetele mesilastele, ise samaaegselt nõrgestades mesilase organismi [41, 60]. Arvestades mesilasperesid, kus avastati varroalest, hävines koosmõjus viirustega 50 kuni 100% nakatunud mesilasperedest. Andmed pärinevad USA-st 2000. ja 2001. aastast [35].

Neljandaks mesilaste arvukuse languse põhjuseks on ülemaailmsed kliimamuutused, mis mõjutavad mesilasi laiaulatuslikult. Kliimamuutused avaldavad mõju mesilaste käitumisele, arengule ja kohastumustele vastavates elukeskkondades. Külmaes piirkondades on mesilased harjunud talve veetma taru keskel tihedas kobaras. Sealsete alade mesilased on kohastunud pika külma kevadega, mille üleelamiseks on tähtis eelneval suvel piisavalt tagavarasid koguda. Soojemates piirkondades elavad mesilaste liigid arenevad kevadeti palju kiiremini. Olukorras, kus temperatuurid tõusevad vaid mõnekümne aastaga, ei suuda mesilased ümber kohastuda ja neil tekivad suured raskused ellujäämisega [60].

Kliima avaldab otsest mõju õistaimede arengule, nektari ja õietolmu tootmisele, mis omakorda on seotud mesilaste korjekäitumisega ning mesilaspere arenguga [78]. Talvised toidutagavarad on äärmiselt olulised mesilaste talvitumiseks ning need peavad sisaldama kvaliteetset õietolmu, mis tagab kevadel mesilasperele tugevad töomesilased ja terve emamesilase [65]. Kui korjehooaja vältel on palju ekstreemseid ilmastikuolusid, mille korral kas mesilased ei saa korjele minna või siis taim ei tooda vajaliku õietolmu, jäävad mesilaste immuunsüsteemid nõrgaks ning nad on vastuvõtlikumad haigustele ja parasiitidele [60].

Kliimamuutuste mõju võib olla palju laiaulatuslikum – seniajani alles arutatakse, millised muutused hakkavad veel toimuma ning kuidas need mõjuvad tervikuna. Küsimusi on veel palju õhus, kuid mesilastele hakkavad kindlasti otsest mõju avaldama pikemad kuivaperioodid, elurikkuse vähenemine, elukohtade kadu ning uute haiguste levik [60].

Veel üheks oluliseks võimalikuks mesilaste arvukuse languse põhjuseks tuuakse välja pestitsiidide kasutamist. Pestitsiidide kasutatakse väga laialdaselt põllumajanduses taimekasvatustes. Põllud, viljapuuaiad, aiamaad, haljastus ja muud alad, kus kasutatakse pestitsiidide, on kõik vähemal või rohkemal määral seotud mesilaste korjemaadega. Taimedelt korjatud õietolmu ja nektariga kannavad mesilased pestitsiidide jääke tarru, meekärgele, vastsetele, mesilasemale ja teistele töomesilastele. Belgias 2014. aastal

avaldatud teadustöös leiti uuritud tarudest insektitsiidide, herbitsiidide, fungitsiidide ning akaritsiidide jääke. Erinevate pestitsiidide jääke oli üle 100. Nende seas dimetoot (laialdaselt kasutatud insektitsiid), putukatõrjevahend DDT (keelatud Euroopas alates 1970. aastast), imidakloprid – (süsteemne putukamürk), MCPA – (kasutuses üldhävitava toimega herbitsiidides), akaritsiid fluvalinaat – (kasutatakse ka varroalesta tõrjeks mesilastel). Uurimuses toodi välja, et pestitsiidide jäägid kogunevad mesilaste organismi ning võivad kujuneda nii-öelda märkamatuks stressi allikateks, mis nõrgestavad olulisel määral mesilaste organismi ja nad muutuvad haigustekitajatele vastuvõtlikumaks [24]. Tihti ei olegi pestitsiidide jäägid surmavad, vaid omavad subletaalseid mõjusid [19, 44].

1.5. Pestitsiidid mesinduses ja põllumajanduses

Pestitsiidid on leidnud oma koha ka mesinduses. Nii nagu põllumajanduses on ka mesinduses haigustekitajate vastu loodud sünteetilised tõrjevahendid, mis ehk polegi kõige efektiivsemad, kuid mesinikel on neid mugav kasutada [7].

Üks Eestis enim kasutust leidev toimeaine on – tau-fluvalinaat, mida kasutatakse varroalesta tõrjumiseks mesilasperedes. Mesilasperre kärjeraamide vahele asetatakse tau-fluvalinaadiga kaetud plastikust ribad, mida mesilased kannavad jalgadega üle taru laiali ja see hävitab varroalesta [33]. Selliselt manustatavat tau-fluvalinaati on peetud ohutuks, kuid hiljutised uuringud on täheldanud sünergeetilist toimet teiste varroalesta tõrjuvate pestitsiididega [16]. Varroalestadel on aga paiguti ilmnenud tau-fluvalinaadi suhtes resistentsus ning siis võeti kasutusele uus tõrjevahend Checkmite+, mille toimeaineks on kumafoss. Olukorras, kus omavahel saavad kokku tau-fluvalinaat ja Checkmite+, akumulatsioonid need ained kiiremini mesilasessa ja vahasse ning avaldavad negatiivset mõju mesilasema kasvule ja viljakusele [16]. Lisaks kasutatakse varroalesta tõrjeks mitmeid teisi toimeained nagu näiteks – amitraasi ja flumetriini [8].

Pestitsiidid jaotatakse erinevatesse klassidesse vastavalt nende poolt mõjutatavale organismile – herbitsiidid, fungitsiidid, insektitsiidid, bakteritsiidid, akaritsiidid ja lisaks on olemas mõned vähem kasutatavad nagu näiteks nematotsiidid ja zootsiidid. Kolme esimest pestitsiidi klassi kasutatakse põllumajanduses kõige enam. Ülemaailmne herbitsiidide turg on kasvanud 39% aastatel 2002 kuni 2011. Kasvu ennustati veelgi 11%

aastaks 2016 [55]. Herbitsiidid pidurdavad või pärsivad taimes olevate ensüümide tööd, mille tagajärjel taime elutähtsad protsessid seiskuvad. Mõningad herbitsiidid blokeerivad rakutuumas olevate elektronide töö, kandes sealt saadud energia mürgistele ühenditele, mis lõhuvad taime rakukestad [56]. Herbitsiidide tõhusus ning mugavus tagavadki nende laialdase kasutuse. Jaapanis 2001. aastal läbi viidud uuringus selgus, et herbitsiidid on vähendanud umbrohtude tõrjeks kuluvat aega 97%, võrreldes mehaaniliste tõrjevõtetega [69]. 2000. aastate alguses peeti Ukrainas suurte teravilja saagikadude põhjuseks umbrohtumust. Kui 2002. aastal kasutati 50% maisipõldudest herbitsiidi, siis 2012. aastaks oli pritsitavate põldude arv tõusnud 90%-ni, ning tänu sellele on ka saagikused kasvanud [75]. Herbitsiidides kasutatavad toimeained on glüfosaat, glufosinaat-ammoonium, bentasoon, flufenatseet, isoksaflutool, mesotrioon, nikosulfuroon, terbutüülasiin. Need on enam tuntumad toimeained [26].

Fungitsiidid on teine laialdast kasutust leidev pestitsiidide klass. Fungitsiide kasutatakse põllumajanduses seenhaiguste ennetamiseks ja tõrjeks. Fungitsiidid peatavad või pärsivad seene rakkudes ensüümide tööd, mis on olulisel kohal seene biosünteesis [59]. Ameerika Ühendriikides 2000-2010. aastal läbi viidud uuringus täheldati fungitsiidide märkimisväärset mõju maisi saagikusele vaid 46% katsepõldudest. 80% põldudest täheldati positiivset mõju saagikusele ja 20% katsepõldudest negatiivset või olematut mõju. Uuringust järeldati, et fungitsiidid on majanduslikult tasuvad, vaid juhul kui maisisilol on kõrge risk nakatuda seenhaigustega [33]. Vaatamata tõsiasi, et fungitsiidid ei pruugi olla väga efektiivsed, siis nende turuosakaal aastal 2009 oli kogu pestitsiidide turust 26% (rahalisel väärtusel üle 11 miljardi dollari) [28]. Fungitsiidides peamiselt esinevad toimeained on tebukonasool, epoksikonasool, propikonasool, difenokonasool, flutriafool. Taaskord on toimeaineid tegelikult märksa enam [68].

Kasutatavuse poolest kolmanda grupi moodustavad insektitsiidid. 2015. aastal oli ülemaailmse insektitsiidide turu suuruseks 12,2 miljardit dollarit ning 2019. aastaks ennustati kasvu 16,4 miljardi dollarini [63]. Insektitsiide kasutatakse taimkahjurputukate hävitamiseks või kahjustuste ennetamiseks. Insektitsiidid kahjustavad putuka närvisüsteemi, takistades närviimpulsside liikumist või häirivad ensüümide tööd, mis peaksid tagama närvisüsteemi biosünteesi protsessid [34]. Insektitsiidid jaotatakse kahte gruppi: kontaktset mõjuvad vaid otseselt pihta saanud putukatele ning süsteemsed, mis imenduvad kaitstavasse taimedesse ja kui kahjur neid sööb, saavad nad letaalse koguse kätte. Kui kontaktset preparaadi kaovad töödeldud põllult lühikese ajaga, siis süsteemsed

jäävad taimedele vähemalt 10-15 päevaks. Seega pihta ei saa ainult kahjurid, vaid ka putukad, kes seal peatuvad, üle lendavad või toituvad [76]. Palju kõneainet pakkunud neonikotinoidid on just põhilised komponendid süsteemsetes insektitsiidides [71]. Insektitsiidides peamiselt kasutatavad toimeained on- alfa-tsüpermetriin, imidakloprid, tiaklopriid, tiametoksaam, tau-fluvalinaat. Nimekiri kasutatavatest toimeainetest on pikk [73].

1.6. Pestitsiidide jäägid mesindussaadustes

Meemesilased korjavad ühe osa vajalikust õietolmust ja nektarist põldudel kasvavatest taimedest, kuid põlde pritsitakse taimekaitsevahenditega. Taimedele pritsitud pestitsiidid haakuvad mesilaste kehale, õietolmule ja nektarile. Niimoodi jõuavad pestitsiidide jäägid tarru.

Poolas 2010-2012. aastatel viidi läbi katse, kus talirapsi põlde pritsiti põllul tavapäraselt kasutatavate pestitsiididega nende tavapärastes kontsentratsioonides ning koguti proove õietolmust, nektarist ja mesilastest. Katsepõldude suurused olid 29 ha, 21 ha ja 17 ha. Nendel kasutati erinevaid pestitsiide. Kasutati näiteks insektitsiidi PROTEUS 110 OD, mille toimeaine on tiaklopriid. Lisaks kasutati herbitsiidi GALERA 334 SL (toimeaine: klopüraliid, pikloraam), fungitsiidi FUNABEN T (tiraam- 45%, karbendasüüm- 20%) ning enne külvi puhiti seemneid vastavate toimeainetega: tiametoksaam, klotianidiin ja imidaklopriid. Tulemuseks leiti pestitsiidide jääke nii õietolmust, nektarist kui ka mesilastest. Õietolmust keskmiselt 60% sisaldas neonikotinoidide jääke, ka selliseid, mida polnud katse käigus kasutatud. Keskmiselt leiti 4,2 ng/g kohta tiametoksaami. Nektari proovidest keskmiselt 48% sisaldasid neonikotinoidide jääke. Keskmiselt leiti igast proovist 3,8 ng/g kohta tiametoksaami. Lisaks leiti palju erinevate pestitsiidide klasside toimeaineid nagu näiteks dimetoaat (insektitsiid), pendimetaalin (herbitsiid), tsüprokonasool (fungitsiid) ning tebuconasool (fungitsiid) [21].

Pestitsiidijääkidega saastunud õietolmu ja nektari viivad mesilased tarru ning valmistavad sellest vastavalt suira ja mett. Mesi on mõeldud mesilastele endale talvevarudeks, kuid mesinikud koguvad enamuse meist endale toodanguks ning see jõuab inimeste toidulauale. Põhja-Poolas koguti 2010. aastal 45-st mesilasperest meeproove. Välja valiti 30

pestitsiidide toimeainet, mida hakati meeproovidest otsima. Need toimeained oli välja pakkunud kohalik mesinike organisatsioon ning kohalikud taimekaitsevahendite müüjad. Nimistust leiab näiteks: dimetooadi, heptenofossi, haloksüfop-R-metüüli, imidaklopridi, metidatiooni, tiametoksaami. Töö kokkuvõtteks leiti meeproovidest kõiki välja pakutud toimeaineid. 29% meeproovidest leiti pestitsiidide jääke ning nendest 11% leidis kõik 30 toimeainet. Jääkide kogused jäid vahemikku 7,6 ng/g kuni 25,7 ng/g kohta. Töös lõpus mainiti, et mees leiduvad pestitsiidide jäägid võivad kujutada teatud ohtu inimeste tervisele [14].

Noored töomesilased toodavad vahanäärmetega mesilasvaha, mis on karge ehitusmaterjaliks. Pestitsiidide jäägid võivad mesilasvahas sattuda, kui seal hoiustatakse saastunud mett. Saastunud korjemesilased on jäägid tarru toonud. Teine võimalus on kui uute kärjepõhjade tootmiseks on kasutatud vana saastunud vaha [39]. Belgias 2012. aastal tehtud uuringus koguti kümnest erineva asukohaga tarust proove, iga vahaproov oli 100 g. Pestitsiidide jääke leiti kõikidest vahaproovidest ning kokku tuvastati 18 erinevat toimeainet. Peamiselt esines fluvalinaat, kumafoss ning bromopropülaat. Leiti ka fungitsiide ja herbitsiide, mis olid 2012. aastaks juba aastaid keelatud olnud nagu näiteks lindaan (γ -HCH), DDT ja DDE [32].

Itaalias aastatel 2013-2015 võtsid teadlased proove ühest Toscana piirkonna mesilasvaha ümbertöötlemise tehasest. Kokku võeti 173 vahaproovi (iga vahaproovi suurus 10 g). Vaha pärines erinevatest Itaalia piirkondadest ning seal oli nii tavamesinike kui ka mahemesinike vaha. Mahevaha oli küll puhas, kuid segati tehases ikkagi tavavahaga kokku. 73,6% vahaproovidest leiti vähemalt üks pestitsiidi jääk või rohkem. Puhtaid proove oli vaid 26,4%. Kõige enam leiti tau- fluvalinaati, endosulfaani ning kumafossi. Erinevaid pestitsiidide jääke tuvastati 41. Kogused jäid enamasti 0,001-0,002 mg/kg piiresse. Siiski osade jääkide kogused olid märkimisväärselt suuremad. Näiteks püretriini oli 4,42 mg/kg kohta, piperonüülbutoksiidi oli 2,3 mg/kg kohta ning tau- fluvalinaati oli 1,07 mg/kg kohta. Ka selles uuringus leiti aastakümneid keelatud aineid nagu näiteks DDT, DDE, DDD. Neid aineid esines rohkem kui 25 proovis [6].

Poolas viidi 2014. aastal läbi uuring, kus otsiti pestitsiidide jääke mesilasvahast, mesilastest ning talvevarudes olevast suirast. Kokku võeti proove 727. Uuringu eesmärk oli leida põhjuseid järjest suurenevale mesilaste hukkumisele. Tulemuseks leiti, et 60,2% suirast ja 49,6% mesilasvahast olid saastunud pestitsiididega ning mesilastest vaid 13,5%.

Mesilasvahast leiti hulganisti akaritsiidide jääke: fluvalinaat (40% proovidest), kumafoss (14,7% proovidest), amitraas (3,3% proovidest), ning kõikidest proovidest leiti flumetriini jääke. Mesilastest leiti jääke insektitsiididest, herbitsiididest ja fungitsiididest. Insektitsiididest olid esindatud neonikotinoidid, herbitsiididest näiteks pendimetaliin ning fungitsiididest propamokarb ja karbendasiim. Suirast oli 60,2% saastunud ning kõige enam leiti fungitsiidide jääke (45,3%). Järgnesid insektitsiidide jääke (32%) ning herbitsiidide jääke (24,5%). Fungitsiididest leidus kõige rohkem asoksüstrobiini, boskaliidi, karbendasiimi ning tebukonasooli, mille vastavad kontsentratsioonid olid: 6,9 ng/g, 124,9 ng/g, 7,1 ng/g ning 99,7 ng/g. Insektitsiididest oli enim atsetamipriidi, dimetooati ja fenpüroksimaati, mille vastavad kontsentratsioonid olid: 10,3 ng/g, 36,4 ng/g ja 3,2 ng/g. Herbitsiididest suurim kontsentratsioon oli linuroonil (68,6 ng/g) ning metoksüfenosiid (66,0 ng/g). Kokkuvõtteks hindasid teadlased, et nii paljud erinevad pestitsiidide jäägid avaldavad mõju mesilaste tervisele ja talvitumisele [67].

Ameerika Ühendriikides võtsid teadlased 2007-2008. aasta mesindushooajal proove mesilasvahast, õietolmust, suirast ja mesilastest. Proove koguti 23 osariigist, lisaks ühest Kanada provintsist, kokku üle 749 proovi. Teadlastel oli nimekiri 200 võimalikust pestitsiidide jäägist, mida hakati proovide analüüsi käigus otsima. Tulemusena leiti kõikide proovide peale kokku 118 erinevat pestitsiidide jääki, keskmiselt oli ühes proovis 6,5 erinevat jääki. Mesilasvahast leiti 87 erinevat pestitsiidide jääki ning keskmine oli 8 erinevat proovi kohta, kusjuures kõik vaha proovid olid võetud haudmekärgedelt. Õietolmust leiti 98 aine jääke ning keskmine oli 7,1 jääki proovi kohta. Mesilastest leiti kokku 46 erinevat jääki ning keskmine ühe proovi kohta oli 2,5. Kõige enam levinud pestitsiidide jäägid olid: tau-fluvinaat (86% proovidest), kumafoss (60%), fungitsiid klorotaloniil (7,1%), herbitsiid pendimetaliin (4,3%). Näiteid vähem levinud jääkidest: insektitsiid fiproniil (1,4%), tebukonasool (0,7%), süsteemne herbitsiid atrasiin (0,7%), kloororgaaniline ühend DDE (0,7%). Teadlased avaldasid sügavat muret seoses pestitsiidide enneolematute koguste leidmisega mesilasperedest. Seda olukorras, kus uuriti vaid 23 osariiki ja võeti vaid 749 proovi [9].

Belgias 2016/2017. aastal tehtud uuringus püstitati hüpotees, et glüfosaadi jääke leitakse hulganisti suirast, kuid mitte mesilasvahast. Riigi erinevaist paigust võeti 379-st mesitarust vahaproove, millest 26% leiti glüfosaadi jääke. Teadlased pidasid seda ebatõenäoliseks, kuna glüfosaat on hüdrofiilne, aga mesilasvaha koosneb rasvstruktuuridest. Keskmiselt

leiti 51,3 ng/g kohta glüfosaadi jääke [68]. Saab järeldada, et mitmed pestitsiidide klassid jõuavad ühel või teisel viisil mesilasvahasse.

1.7. Pestitsiidide subletaalsed mõjud mesilasemadele

Pestitsiidid põhjustavad mesilastele ja mesilasemadele erinevaid subletaalseid mõjusid. Mesilasemade puhul tähendab see kehamassi vähenemist, viljakuse vähenemist, töölismesilased lõpetavad emakuppude eest hoolitsemise, ilmnevad probleemid paaritumisel ning üldine tervis nõrgeneb [19, 44]. Probleemid mesilasemaga kahjustavad lõpuks kogu mesilaspere – juurdekasv jääb väikseks ning toodang alaneb. Mesilasema halba tervist peetakse üheks peamiseks mesilasperede hukkumise põhjuseks Põhja-Ameerikas ja Euroopas [49, 52].

Šveitsis tehti 2013. aasta suvel katse neonikotinoidide mõju välja selgitamiseks mesilasemadele. Teadlased püstitasid hüpoteesiks, et neonikotinoidid muudavad oluliselt käitumist ja füsioloogiat, mis omakorda vähendavad mesilasemade reproduktsiooni võimet. Kasutati eelnevate uurimuste alusel selgunud põllult leitud pestitsiidide koguseid. Mesilasperedele anti 36 päeva järjest 100 g õietolmu, mis sisaldas 4 ug/kg⁻¹ tiametoksaami ja 1 ug/kg⁻¹ klotianidiini, samaaegselt märkimisväärselt vähendades õietolmukogurite abil mesilaste enda kogutud õietolmu hulka tarus. Mesilasemade arengut jälgiti igapäevaselt ja proove võeti iga nädal. Tulemustest selgus, et 25% rohkem mesilasemasid hukkus võrreldes kontroll mesilasperega. Ellujäänud mesilasemad andsid 38% vähem järglasi. Lisaks veel andsid pestitsiididega töödeldud mesilasemad 34% vähem järglasi, kes jääks ellu ja jõuaksid töömesilase staadiumi. Nendelt mesilasemadelt leiti ka 20% vähem talletatud spermatooside ning olemasolevatest spermatoosididest oli 9% vähem elujõulisi võrreldes kontrollemadega. Teadlased tõestasid, et juba väikeste pestitsiidide koguste juures lühikese aja jooksul, avalduvad silmnähtavad subletaalsed mõjud [19].

Ameerika teadlased teostasid 2003. aastal katse, kus jälgiti kumafossi ja fluvalinaadi subletaalseid mõjuseid mesilasemadele. Katse käigus töödeldi tühje mesilasemakuppe 10, 100 ja 1000 mg/kg kumafossiga ning 1000 mg/kg fluvalinaadiga. Kokku tehti 576 emakuppu. Katse tulemustes hinnati mesilasemade ellujäämist nii kupus arenedes kui ka peale seda. Võrreldi – kaalu, värvust, sobilikkust müügiks, paarumist. Tulemused näitasid,

et 100 mg/kg kumafossiga töödeldud emakupus ei hakanud 60% vakladest arenema ning 1000 mg/kg fluvalinaadiga töödeldud emakupus ei hakanud 75% vakladest arenema. Kontrollgrupis jäi mitte arenevate vaklade arv 20% juurde. 1000 mg/kg kumafossi ja fluvalinaadiga töödeldud emakupudes arenenud vastsed olid ebanormaalselt valget värvi ning kaalusid 0,120-0,160g. Kontrollgrupis olevad vastsed omandasid loomuliku kuldpruuni värvuse ning kaalusid üle 0,225 g. Teadlased jälgisid ka, kuidas mesilasema värvus mõjutab spermatooside arvu. Valge tooniga mesilasemad talletasid alla 1 miljoni spermatoosidi, valgepruunika tooniga 1,5 miljonit ning loomupärase värvusega mesilasemad talletasid üle 2 miljoni spermatoosidi. Jälgiti ka kui paljud mesilasemad hakkasid üldse mune munema. 10 mg/kg ja 100 mg/kg kumafossiga töödeldud emakuppudest arenenud mesilasemade seas oli märgatavalt neid, kes ei munenud ühtegi muna, olukorras, kus nad olid paarunud. 10 mg/kg puhul 51-st 7 ning 100 mg/kg puhul 41-st 6. Kusjuures kontrollgrupis andsid järglasi kõik ellujäänud emamesilased. Kokkuvõtteks järeldasid teadlased, et väga väikesed pestitsiidide kogused ei avalda märgatavat mõju mesilasemadele. Siiski saab tuvastada selgeid hälbeid mesilasemade ellujäämuses, kaalus, paarumises, järglaste andmises ning tervislikus seisundis [30].

Teadlased panid 2016. aastal kokku mahuka teadustöö, mis annab ülevaate paljudest erinevatest töödest, milles keskendutakse üksikutele subletaalsetele mõjudele. Nagu näiteks pestitsiidide mõju mesilaste rakkude tööle, organitele, navigatsiooni tajule, haudme tervisele, mesilasema tervisele. Antud töö koostajad väidavad lõpetuseks, et pestitsiidide subletaalsed mõjud mesilastele ja mesilasemadele on vähe uuritud teema ning terviklikku lähenemist mesilasperedele praktiliselt pole [4]. Käesolev töö proovib anda täpsemat selgitust pestitsiidide mõjust mesilasemadele, kuna töölismesilased on mõne võrra rohkem uuritud.

1.8. Pestitsiidide liikumine mesindussaaduste vahel

Pestitsiidide jäägid, mis on jõudnud tarru, hakkavad edasi kanduma erinevate mesindussaaduste vahel. Peamiselt kuhjuvad pestitsiidide jäägid mesilasvahasse ja sealt oma korda liiguvad edasi – haudmesse, suira, mette, mesilasema toitepiima, sest nendel on kõrjekannus otsekontakt saastunud mesilasvahaga. Pestitsiidide jäägid kõrjekannudes

avaldavad negatiivset mõju vastse arengule ning suira ja mee kaudu kanduvad jäägid töölis- ja emamesilastele, kel tekivad käitumis-, sigimis ja tervisehäired [68].

Mesilasvahas olevad pestitsiidide jäägid jõuavad esmalt kärjekannudes olevatesse vastsetesse. Ameerikas 2019. aastal läbiviidud teadustöös uuriti fluvalinaadi liikumist vahast vastsetesse. Teadlased püstitasid hüpoteesi, et pestitsiid ei levi mesilasvahast töomesilaste vastseteni, kuna seda ei jõua piisavates kogustes mesilasvahasse. Hüpotees osutus valeks, sest vahendajate käest ostetud – väidetavalt puhas – mesilasvaha sisaldas kõige halvemal juhul 1040 ng/g kohta fluvalinaati. Märksa olulisem avastus oli fluvalinaadi liikumine vastsetesse. Katse käigus kasutati neljast erinevast vahast koosnevaid kärjekanne. Nendeks oli saastunud vaha fluvalinaadiga, saastunud vaha pluss töötlemine Apistaniga (varroalesta tõrjumiseks kasutatav akaritsiid, mis sisaldab fluvalinaati), Apistaniga töödeldud vaha ning puhas kontrollvaha. Tulemustest selgus, et vastsed, kes olid kasvanud kontrollvahas ei sisaldanud üldse fluvalinaati ning Apistaniga töödeldud vahas tuvastati väga väikeses koguses fluvalinaadi jääke. Kõige rohkem fluvalinaati sisaldasid vastsed, kes olid arenenud varem saastunud vahas ning oli töödeldud Apistaniga. Need vastsed sisaldasid esimesel nädalal 0.92 ng/g fluvalinaati, teisel nädalal samas vahas olevad vastsed juba 2,54 ng/g. Kuuendal nädalal ei suudetud enam tuvastada fluvalinaadi jääke. Teadlased hindasid, et vastsete pidev kokkupuude pestitsiidiga võib tekitada arenguhäiringuid [46].

Hispaanias tehti 2019. aastal katse, kus jälgiti pestitsiidide liikumist mesilasvahast suira ja sealt omakorda haudmesse. Proovid võeti 10-st erinevast mesilasperest, mis asuvad nii põldude, asula kui ka looduslike alade lähedal. Tarus olevatest kärgedest lõigati 25cm² suurune tükk, mis sisaldas mesilasvaha, suira ja hauet. Haue oli peamiselt vastse staadiumis. Vaha proovidest selgus kolm suurima kontsentratsiooniga toimeaine jääki: amitraas (kasutatakse varroalesta tõrjeks) 9247 µg/kg: tau-fluvalinaat 244 µg/kg ning kumafoss 3798 µg/kg. Vahas leidis veel 16 erinevat pestitsiidi jääki. Mõned näited: 4,4'-DDT, tebukonasool, propikonasool, protiofoss. Katse paremaks ilmetamiseks valiti amitraas, tau-fluvalinaat ja kumafoss. Pestitsiidide liikumist jälgiti maist oktoobrini, mil igal kuul võeti üks proov. Tulemustest selgus, et kui kumafossi oli mai alguses vahas 3798 µg/kg, siis samal kuul oli suiras 109 µg/kg kumafossi ning juulis leiti 12 µg/kg kumafossi vastsetest. Tau-fluvalinaati oli mesilasvahas terve hooaja vältel üle 200 µg/kg. Maikuus leiti hooaja kõige suurem kogus 16 µg/kg suirast ning oktoobrikuu proovist leiti haudmest 4,7 µg/kg tau-fluvalinaati. Amitraasiga töödeldi mesilasperesid juulis, ning samas kuus

võetud proov sisaldas 9247 µg/kg amitraasi. Juulikuus võetud suira proov sisaldas 271 µg/kg pestitsiidi ning juulikuine vastsete proov sisaldas 153 µg/kg amitraasi. Teadlased pidasid peamiseks pestitsiidide allikaks ümbertöödeldud vaha, mis sisaldas väga palju erinevate pestitsiidide jääke [47].

Kärjekannudes hoiavad mesilased ka mesilasema toitepiima. Juhul kui mesilasvaha on saastunud mõne pestitsiidiga, siis võib see edasi kanduda mesilasema toitepiima. Seda tõestas 2020. aastal Ameerika Ühendriikides läbiviidud uuring. Uuringus töödeldi mesilasvaha erinevate pestitsiididega ning vahast tehti mesilasemakupud. Mesilasvaha töödeldi kogustega, mis on varasemalt välja selgitatud keskmised pestitsiidide kogused saastunud vahas. Tulemuste iseloomustamiseks kasutati Hazard Quotient'i (HQ) meetodit, kus arv 1 väljendab kahjulike mõjude väikest riski ja mida suurem arv, seda suurem on risk. Tulemuseks leiti 13 pestitsiidi jääki 19-st. HQ arv ulatus 2596-ni, kui kontrollvaha puhul oli see arv 32. Palju tähelepanuväärsem oli asjaolu, et samast mesilasvahast tehtud kuppudes hoiti ka mesilasema toitepiima, kust leiti kõrgeim kogus pestitsiidide jääke. Mesilasema toitepiimas oli HQ arv 307,16, mis viitab suurele hulgale ülekandunud pestitsiidide jääkidele. Kontrollvahas oli HQ arv 1,19. Antud teadustöö üheks järelduseks tehti, et mesilasema toitepiima kandub keskmiselt 10% pestitsiidide jääke mesilasvahast [66].

Belgias koguti 2016. aasta kevadel erinevatelt mesinikelt 182 vahaproovi, leidmaks pestitsiidide jääke. Võeti 100 g proovid neljast erinevast vahasordist- haudmekärjest, meekärjest, taaskasutatud vahast ja uuest värskest vahast. Lisaks erinevate pestitsiidide jälgede leidmisele kasutati Hazard Quotient'i (HQ) meetodit, et paremini mõista pestitsiidide potentsiaalset ohtlikkust haudmele. Antud töös võeti aluseks, et juhul kui HQ arv on üle 250, siis mõju võib olla märgatav ning kui HQ arv on üle 5000, siis on tegu kõrgendatud riskiga. Tulemuste osas tähelepanu pöörati haudmekärje proovidele. Esmalt, haudmekärgedest leiti 41 erinevat pestitsiidi jääki. Mõned näited kõrge toksilisusega ainetest: kloorpürifoss, perimetriin, tsüpermetriin, DDT, lindaan ja üks neonikotinoid tiaklopriid. Teisalt toodi välja HQ arvud, kui mediaan jäi alla 100, siis osad tulemused ulatusid üle 17 000 ning üks isegi üle 440 000. Lisaks arvutati tau-fluvinaadi põhjal kumulatiivne riski protsent kärjekannus olevale vastsele. Arvutuse aluseks võeti kärjekannus viibimise aeg, keskmine surmav kogus mesilastele, HQ väärtus. Kasutati kahte erinevat tau-fluvinaadi kogust: 12 µg mesilase kohta ja 0,2 µg mesilase kohta. Suuremat kogust kasutati arvutuses väiksema HQ arvu puhul (stsenaarium 1) ning

väiksemat pestitsiidi kogust kasutati suurema HQ arvu puhul (stsenaarium 2). Stsenaarium 1 puhul jäi riskiprotsent 15,12% juurde, kuid stsenaarium 2 korral oli vastsel risk saada ohtlik kogus pestitsiidi 122%. Teadlaste hinnagul näitavad arvutused selgelt pestitsiidide kuhjumist mesilasvahasse ning sealt edasi liikumist teistesse mesindussaadustesse [38].

Mesilasvahast võivad pestitsiidid jõuda mette. Seda tõestas juba 2000. aastal Ameerikas tehtud katse. Katse käigus töödeldi mesilasvaha kumafossiga, mida kasutatakse varroalesta tõrjeks. Mesilasvahast tehti kolm erinevat 10 g-st vahaplaati, mis sisaldasid kumafossi vastavalt 1000, 100 ja 10 mg/kg⁻¹. Valmistatud 10 g vahaplaadid pandi 100 g mee sisse ning hoiti 34 °C inkubaatori all. Tulemusteks leiti, et 12 nädala pärast oli mees 300 ppm kumafossi, kui selles oli hoitud 1000 ppm-st vahaplaati. 100 mg/kg⁻¹ vahaplaadist oli mette jõudnud 15 mg/kg⁻¹ kumafossi ning 10 mg/kg⁻¹ ei olnud kumafoss imendunud mette. Imendumine toimus edasi veel peale ametliku katse lõppu [43].

Saksamaa ja Iisraeli teadlaste koostööl valmis 2019. aastal teadustöö, milles uuriti erinevate pestitsiidide liikumist meest mesilasvahasse. Mõlema riigi eri paikade mesilasperedest võeti vahaproovid ning tuvastati pestitsiidide jäägid. Välja valiti 27 enam leitud pestitsiidide toimeainet ning neid kasutati katses. Mõned näited kasutatavatest pestitsiidide toimeainetest: fenbutatiinoksiid, imidaklopriid, metakonasool, kumafoss, tebukonasool, tau-fluvalinaat, tiaklopriid, tiametoksaam. Katse nägi ette pestitsiidi jääkide lisamist mesilasvahasse ja mette. Võeti 10 g mett ja 10 g vaha, kuhu lisati vastavalt 100 mg ja 10 mg toimeainet. Saadud mee lahused pandi inkubaatorisse 75°C juurde, segati, ning mõne ajapärast lisati sulatatud vahasegud. Proove pestitsiidide liikumisest võeti peale 20 minuti, 1 tunni, 8 tunni, 24 tunni ja 168 tunni möödudes. Eesmärk oli jälgida pestitsiidi jääkide pooldumisaega mees ning nende üleminekut mesilasvahasse. Tulemustest selgus, et enamus pestitsiide liikus vaid mõne tunniga täielikult meest mesilasvahasse ning mesilasvahas oli nende pooldumisaeg mitmeid kordi suurem. Kõik 27 pestitsiidi jääki liikusid vähemalt osaliselt üle vahasse, kuid osad tegid seda väga kiiresti ja täielikult. Sellised pestitsiidide jäägid olid näiteks: herbitsiididest triasolinoon, fenüüluuread, oksadiazoolid. Fungitsiididest käitusid samamoodi iprodioon ja tebukonasool, mis liikusid 20 minuti jooksul täielikult meest mesilasvahasse. Insektitsiididest bifentriin ja tsüpermetriin liikusid ka täielikult meest vahasse ning nende pooldumisajad olid vastavalt 15 ja 96 päeva, mis olid ka kõige pikemad pooldumisajad kogu katses. Akaritsiididest liikusid täielikult üle bromopropülaat ja tau-fluvalinaat ning peaaegu täielikult kumafoss ning amitraasi metaboliidid DMF ja DMPF. Kokkuvõttes hindasid teadlased, et pestitsiidi

jäägid liiguvad reaalses olukorras märksa aeglasemalt ühest faasist teise ning tegelikkuses on liikumine mõlemasuunaline. Lisaks sai kinnitust fakt, et mesilasvaha on peamine pestitsiidide kuhjumise kohta mesilasperes [21].

Pestitsiidi jääkide liikumisel mesindussaaduste vahel avaldab väga olulist mõju ainete keemiline koostis. Pestitsiide saab jagada kahte keemilisse klassi: lipofiilsed ehk rasvlahustuvad ning hüdrofiilsed ehk vesilahustuvad. Uuringud on näidanud, et lipofiilsed pestitsiidid kuhjuvad mesilasvahasse ja õietolmu ning hüdrofiilsed kuhjuvad mette ja haudmesse [6, 64]. Peamine lipofiilne pestitsiidide klass on insektitsiidid- nagu näiteks fluvalinaat, kumafoss, tsüpermetriin, kloropüriifoss. Ka fungitsiidid on lipofiilsete omadustega. Seda tõestas ka tekstis varasemalt viidatud katse, kus jälgiti pestitsiidide üleminekut meest mesilasvahasse. Selles katses liikusid fungitsiididest iprodioon ja tebukonasool täielikult üle mesilasvahasse [13]. Herbitsiidid on oma keemilistelt omadustelt hüdrofiilsed ning seetõttu tihti leitakse nende jääke veekogudest [1]. Belgia teadlaste katses selgus, et 865 mesilasperest võetud proovist leiti 91% jälgi glüfosaadist haudmest ning 32% leiti glüfosaadi jääke mesilasvahast [40]. See katse ilmestab hästi, kuidas hüdrofiilsed herbitsiidid kujuvad rohkema vee sisaldusega keskkonda.

2. MATERJAL JA METOODIKA

2.1. Mesilasemad ja vaha

Töös kasutati Itaalia rassi mesilasi. Katses kasutatud mesilasemad on kõik ühe konkreetse mesilasema järglased. Töös kasutatud mahevaha pärineb tunnustatud mahemesilast.

2.2. Kasutatud pestitsiidid

Käesoleva uurimustöö raames uuriti kahe Eestis levinud toimeaine mõjusid mesilasemade arengule. Lisaks uuriti kas ja mis ulatuses antud ained liiguvad ühest mesindussaadusest teise. Fungitsiid tebukonasool leiab laialdast kasutust põllumajanduses seenhaiguste tõrjel. Toimeainet tau-fluvalinaat kasutatakse nii mesinduses varroalesta tõrjumisel kui ka põllumajanduses insektitsiidina.

Töös kasutati kahte toimeainet ja nende segu järgmistes kontsentratsioonides:

Fungitsiid tebukonasool $412 \mu\text{g kg}^{-1}$.

Insektitsiid tau-fluvalinaat $15 \mu\text{g kg}^{-1}$.

Segu: tebukonasool $412 \mu\text{g kg}^{-1}$ + tau-fluvalinaat $15 \mu\text{g kg}^{-1}$.

2.3. Mahevahast kuppude valmistamine

Vaha sulatati üles ning seejärel lisati vastavates kogustes tau-fluvalinaat ja tebukonasooli. Iga vahasegu valmistati eraldi ning kokku tehti neli erinevat segu. Iga partii kohta valmistati spetsiaalse emakuppe jäljendava pulga abil 10 emakuppu. Selleks sulatati mahevaha üles ning vormi (puupulga) ots tõsteti kuuma sulavaha sisse ja seejärel pandi see vette jahtuma. Tegevust korrati 3 korda ning seejärel eemaldati tahkunud vaha vormi küljest ja mesilasema kupp oli valmis. Kupid kinnitati raamidele töötluste kaupa ning kinnitamiseks kasutati sulavaha.

2.4. Vageldamine ja ammperedesse tõstmine

Vageldamine kujutas endast vaklade ümbertõstmist haudmeraamilt spetsiaalse spaatliga eelnevalt valmistatud emakuppudesse. Vageldatud raamid tõsteti ammperesse, kus tööliimesilased hakkasid vageldatud kuppu mesilasema toitepiimaga täitma ja kuppusid üles ehitama.

Põhiliselt jälgiti kolme tegurit: emade vastuvõtt, koorumine ning värskelt koorunud emade kaal. Ehk mitut emakuppu tööliimesilased toitma hakkasid, mitu ema 10-nest koorus ning palju nad peale koorumist kaalusid.

2.5. Pestitsiidijääkide analüüs mesindussaadustes

Pestitsiidijääkide analüüsimiseks mesilasema kuppudes, mesilasema toitepiima, mesilasema vaklades ja valmikutes kasutati UHPLC-MS/MS analüüsi. Analüüsid teostas Läti toiduohutuse labor BIOR.

2.6 Andmete statistiline analüüs

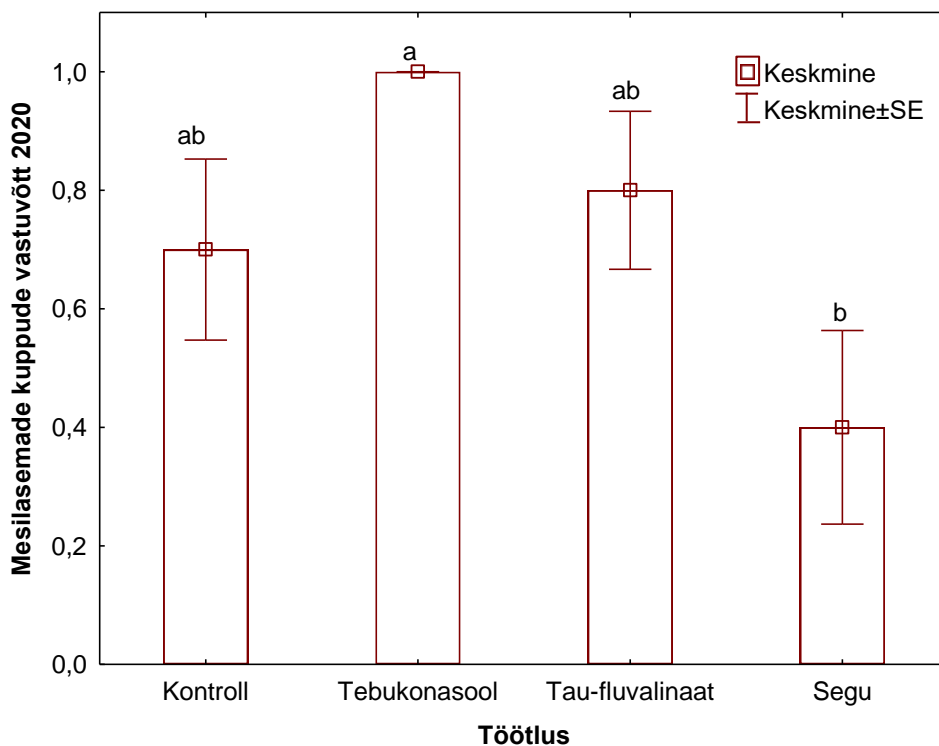
Andmete statistiliseks analüüsiks kasutati programmi STATISTICA. Mesilasemade vastuvõttu, koorumist ja kaalu analüüsiti ANOVA ja Kurskal-Wallise testi abil. Töötlusgruppide omavaheline võrdlus viidi läbi mitmese paarikaupa võrdlusega ja post hoc Fisheri testiga (ANOVA puhul).

3. TULEMUSED

3.1. Tau-fluvalinaadi ja tebukonasooli mõju mesilasema arengule

3.1.1. Mesilasemade kuppude vastuvõtt

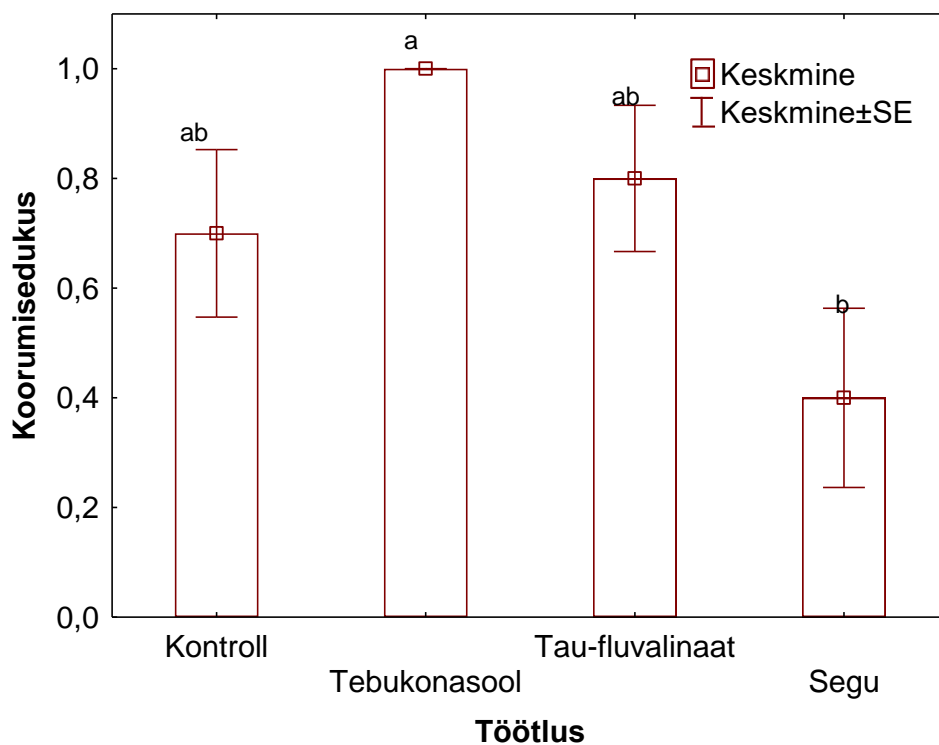
Fungitsiid tebukonasool ja insektitsiid tau-fluvalinaat mõjutasid mesilasemade kuppude vastuvõttu ammperes (joonis 1): KW-H= 9,16; p= 0,027. Kontrolli puhul võeti vastu 70% emakuppudest. Tebukonasooli töötlus tõi oodatust erineva tulemuse. Selle töötluse korral suurenes kuppude vastuvõtt 100%-ni. Ka tau-fluvalinaat avaldas sarnast mõju, kontrollitöötlusest võeti vastu 10% enam kuppe. Tau-fluvalinaat ja tebukonasool seguna mõjutasid mesilasemade kuppude vastuvõttu negatiivselt, vaid 40% töödeldud kuppudest võeti vastu.



Joonis 1. Tau-fluvalinaadi ($15 \mu\text{g kg}^{-1}$) ja tebukonasooli ($412 \mu\text{g kg}^{-1}$) segu mõju mesilasemade kuppude vastuvõtule ammperes. Tähed a, ab, b tähistavad statistiliselt olulisi erinevusi töötluste vahel ($p < 0,05$).

3.1.2. Tau-fluvalinaadi ja tebukonasooli mõju mesilasemade koorumisele

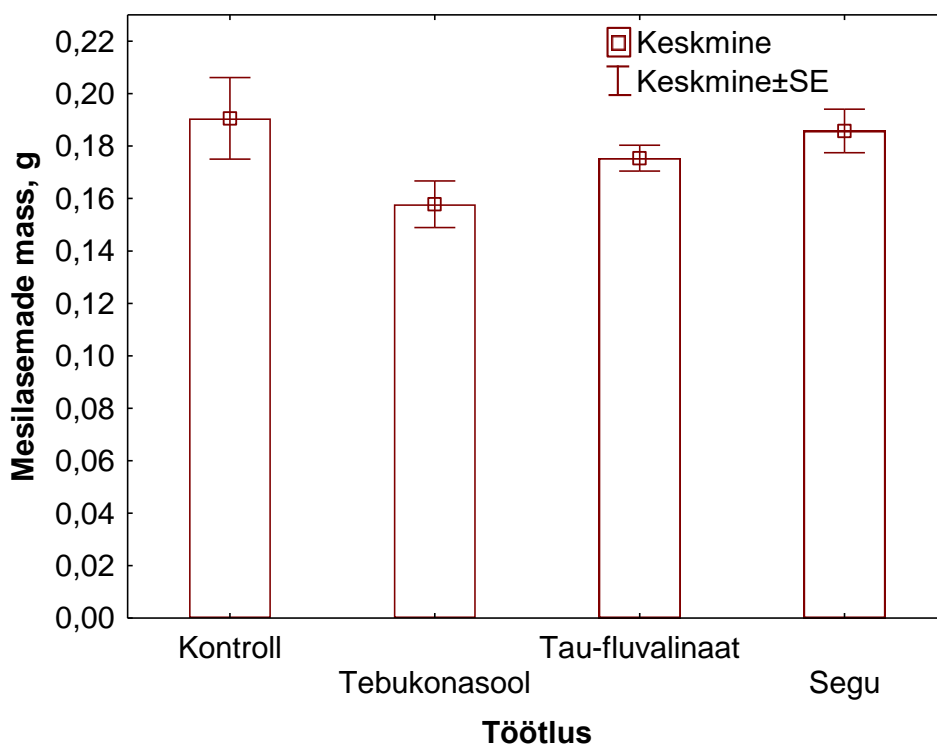
Tau-fluvalinaat ja tebukonasool mõjutasid mesilasemade koorumist ammperes (joonis 2): KW-H= 9,16; p=0,027. Joonis 1 ja joonis 2 on omavahel väga sarnased. Koorumise edukus sõltus pestitsiidide sisaldusest emakupu vahas. Kontrollvariandi puhul koorus 70% mesilasemadest. Tebukonasooli ja tau-fluvalinaadi eraldi töötluste korral koorus vastavalt 100% ja 80% mesilasemadest. Kaks pestitsiidi segus mõjusid taaskord väga kahjustavalt – mesilasemadest koorus kõigest 40%.



Joonis 2. Tau-fluvalinaadi ($15 \mu\text{g kg}^{-1}$) ja tebukonasooli ($412 \mu\text{g kg}^{-1}$) segu mõju mesilasemade koorumisele. Tähed a, ab, b tähistavad statistiliselt olulisi erinevusi töötluste vahel ($p < 0,05$).

3.1.3. Tau-fluvalinaadi ja tebukonasooli mõju mesilasemade kehamassile

Tau-fluvalinaat ja tebukonasool ega ka nende segu ei avaldanud mõju mesilasemade massile (joonis 3): $F(3;25)=2,19$; $p=0,11$. Kontrolltöötuse korral kaalusid mesilasemad keskmiselt 190 mg. Tebukonasooli töötuse korral keskmiselt 156 mg. Tau-fluvalinaadi töötuse puhul kaalusid mesilasemad keskmiselt 175 mg ning kahe pestitsiidi segu töötuse korral kaalusid mesilasemad keskmiselt 185 mg. Kehamassid on küll erinevad, aga statistiline andmetöötlus näitas, et andmed ei oma usutavat erinevust.

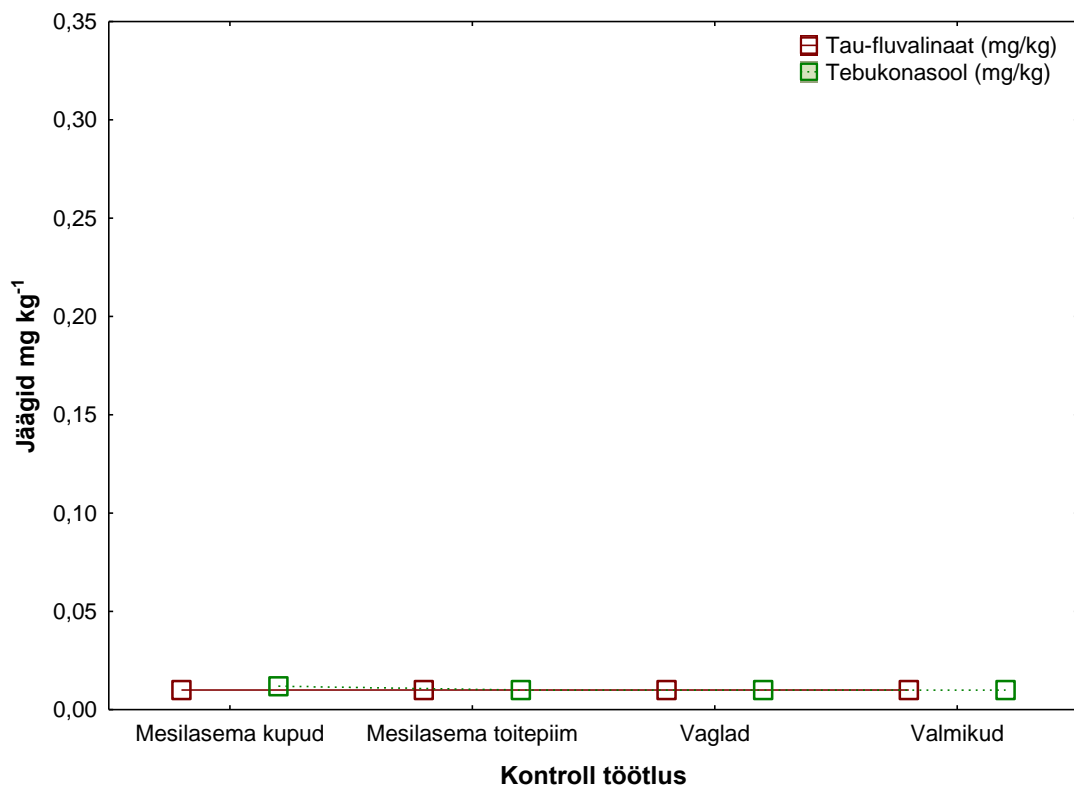


Joonis 3. Tau-fluvalinaadi ($15 \mu\text{g kg}^{-1}$) ja tebukonasooli ($412 \mu\text{g kg}^{-1}$) segu mõju mesilasemade kehamassile. Tähed a, ab, b tähistavad statistiliselt olulisi erinevusi töötluste vahel ($p<0,05$).

3.2. Tau-fluvalinaadi ja tebukonasooli levik mesindussaaduste vahel

3.2.1. Kontrollgrupp

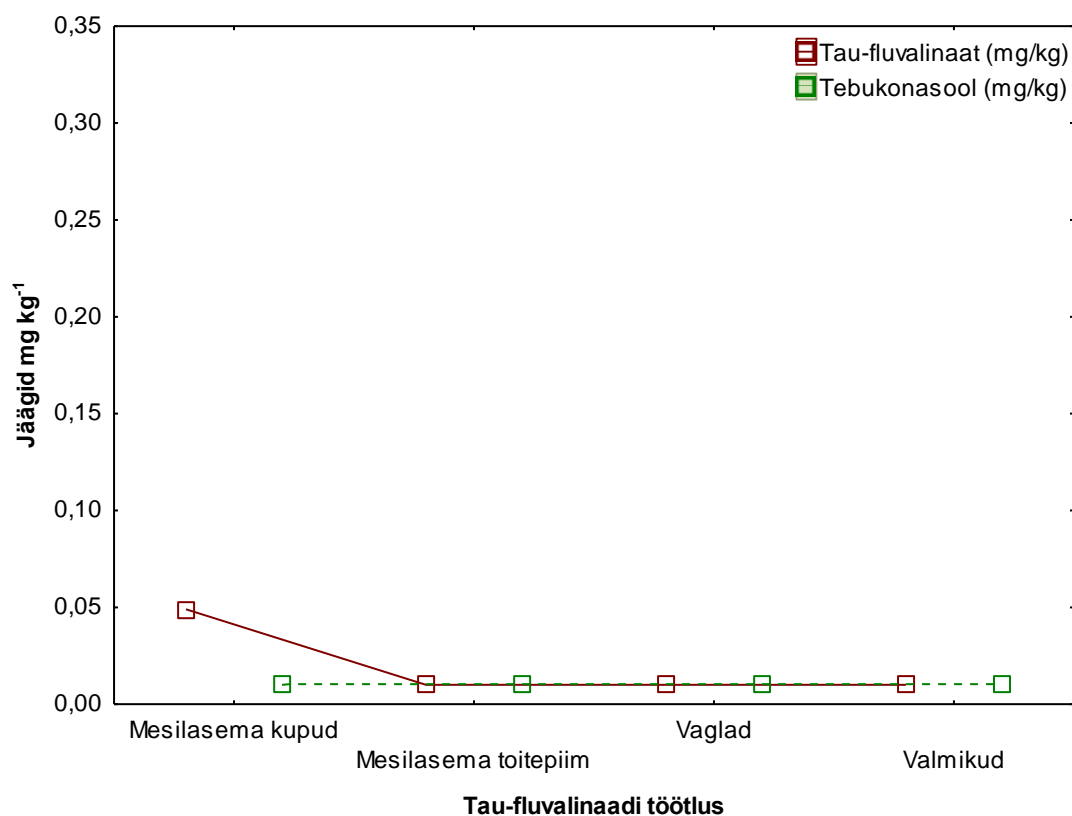
Mesilasema kupudest, mesilasema toitepiimast, vakladest ning valmikutest võeti kontrollproovid tuvastamaks nende puhtust (joonis 4). Kuppudest leiti $0,012 \text{ mg kg}^{-1}$ tebukonasooli, teistest saadustest tebukonasooli ei leitud. Samuti ei leitud ühestki kontrollproovist tau-fluvalinaati



Joonis 4. Tebukonasooli ja tau-fluvalinaadi jäägid kontrollgrupi mesindussaadustes.

3.2.2. Tau-fluvalinaadi töötlusgrupp

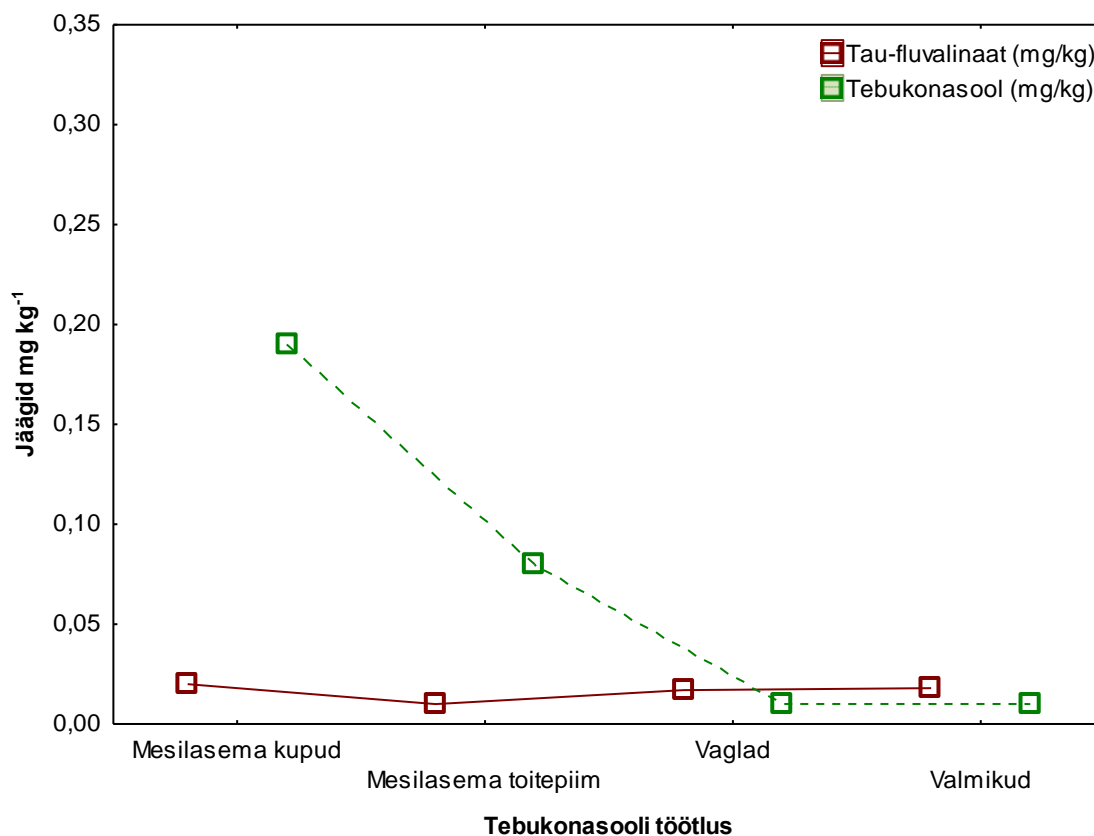
Tau-fluvalinaat ei levinud valmistatud mesilasema kuppudest edasi toitepiima, vakladesse ega valmikutesse (joonis 5). Mesilasema kupust leiti $0,049 \text{ mg/kg}^{-1}$ tau-fluvalinaati, teistest saadustest, aga ei leitud. Proove võeti ka tuvastamaks tebukonasooli, seda sellest töötluses ei tuvastatud.



Joonis 4. Tebukonasooli ja tau-fluvalinaadi jäägid tau-fluvalinaadi töötlusgrupi materjalides.

3.2.3. Tebukonasooli töötlusgrupp

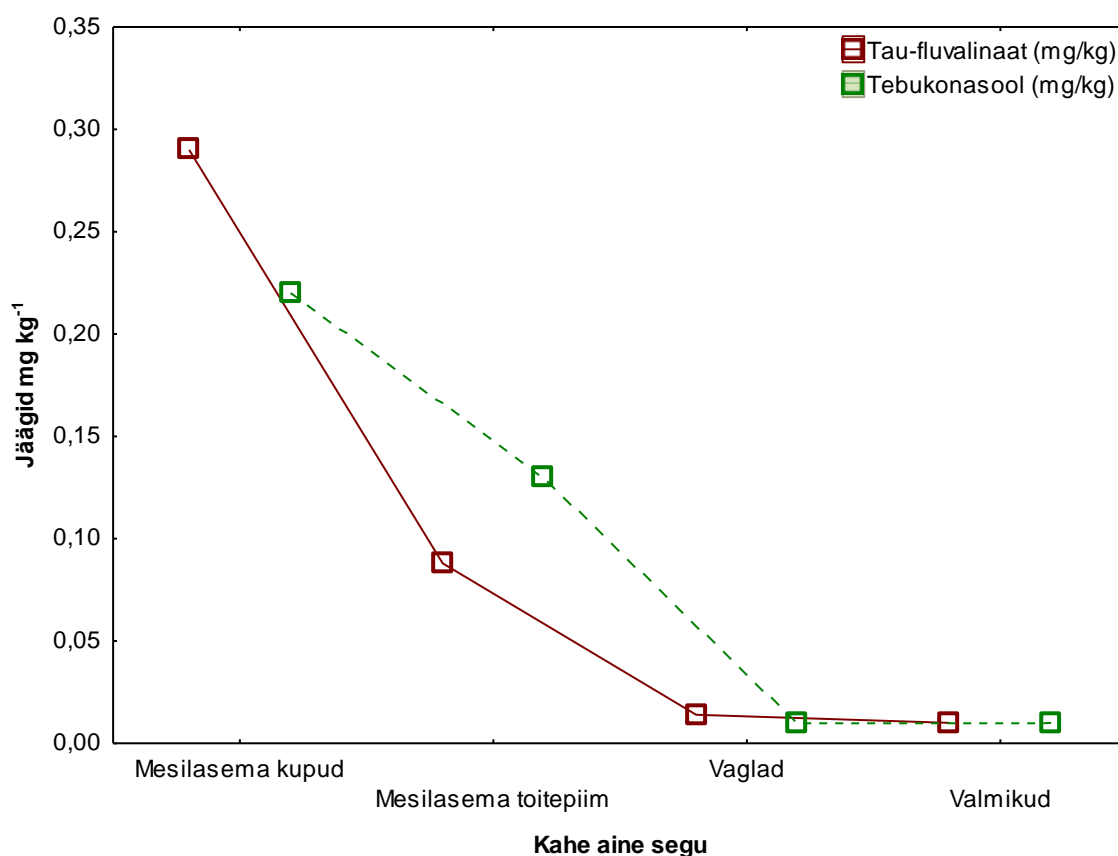
Tebukonasool levis emakupust edasi mesilasema toitepiima, kuid vakladesse ja valmikutesse ei liikunud (joonis 6). Tebukonasooli leiti emakupust $0,19 \text{ mg/kg}^{-1}$, millest $0,08 \text{ mg/kg}^{-1}$ levis edasi mesilasema toitepiima. Vakladest ja valmikutest tebukonasooli jääke ei tuvastatud. Külla aga leiti kõikidest saadustest vähesel määral tau-fluvalinaati, $0,01 - 0,02 \text{ mg/kg}^{-1}$. Antud mesindussaadusi ei töödeldud varasemalt tau-fluvalinaadiga.



Joonis 5. Tebukonasooli ja tau-fluvalinaadi jäägid tebukonasooli töötlusgrupi materjalides.

3.2.4. Tau-fluvalinaadi ja tebukonasooli segu töötlusgrupp

Tau-fluvalinaadi ja tebukonasooli segu levis emakuppudest edasi mesilasema toitepiima (joonis 7). Segudes kasutatavad kontsentratsioonid olid sama suured nagu üksikute ainete töötluste puhul. Joonisel 7 oleva töötluste puhul leiti tau-fluvalinaati emakuppudest $0,29 \text{ mg/kg}^{-1}$, sellest $0,088 \text{ mg/kg}^{-1}$ levis edasi mesilasema toitepiima ning $0,014 \text{ mg/kg}^{-1}$ tuvastati ka haudmest. Tebukonasooli leiti emakupudest $0,22 \text{ mg/kg}^{-1}$, $0,13 \text{ mg/kg}^{-1}$ levis edasi toitepiima, kuid sealt edasi ei levinud. Valmikutest ei leitud kummagi pestitsiidi jääke.



Joonis 6. Tebukonasooli ja tau-fluvalinaadi jäägid kahe aine segu töötlusgrupi materjalides.

4. ARUTELU

Antud töö tulemusel leiti pestitsiidide mõju mesilasemade vastuvõtule ammperes ning koorumisele, kuid mesilasemade kehamassile mõju ei tuvastatud. Selgus ka, et pestitsiidijäägid liiguvad mesilasema kuppudest edasi mesilasema toitepiima, kuid sealt edasi üldjuhul mitte.

Katse tulemustest selgus, et fungitsiid tebukonasool ei avaldanud mesilasemade vastuvõtule ja koorumisele negatiivset mõju. Paradoksaalselt leidsime, et tebukonasooli lisamisega mesilasema kupuvahasse paranes kuppude vastuvõtt ja koorumine. Kuigi paljud teadustööd kinnitavad fungitsiidide negatiivset mõju, ei leidnud see siin kinnitust ning käesoleva töö hüpotees lükati ümber. Ameerika teadlased katsetasid laia valikut fungitsiidide mesilaste vastsetel. Nad jõudsid järeldusele, et juba väga väikesed kogused (0,05 mg) kahjustavad töölisvahlade arengut ja põhjustavad nende hukkumist [61]. Käesolevas töös ei avaldanud sarnane kogus (0,04 mg) mesilasemadele sellist negatiivset mõju, samas me mõõtsime vaid emade koorumisjärgset kehamassi ning seetõttu ei saa ka väita, et emad oli füsioloogiliselt paremas seisundis. Leidub ka teadustöid, milles sarnaselt käesoleva tulemusega olulist mõju ei ole nähtud.

Käesolevas töös leiti, et koostoimes on tau-fluvalinat ja tebukonasool mesilasemade arengule kahjulikumad. Sarnasele tulemusele on jõudnud ka saksa teadlased Schmidt *et al*, kes katsetasid mesilasemadel erinevate fungitsiidide koosmõju tiaklopriidiga ning võrdlesid tulemusi kokkupuutel ainult ühe fungitsiidiga. Tebukonasool üksikult ei põhjustanud ühtegi negatiivset efekti, küll aga koosmõjus suri 24 tunni jooksul 70% mesilasemadest [72]. Tau-fluvalinaat ja tebukonasool on koos toksilisemad. Seda saab järeldada Raimets *et al*. teadustööst, kus uuriti pestitsiidide sünergia. Täpsemalt, mesilaste genoomis esineb tsütokroom P450, mis olemuselt on oksüdatiivsete protsesside eest vastutav. Lihtsustades aitab vähendada stressi tekitava aine mõju, azole tüüpi fungitsiidid (tebukonasool) takistavad tsütokroomide tööd [58]. Seega mesilase organism ei suuda toime tulla tau-fluvalinaadi negatiivse mõjuga, kuna tema kehas on ka tebukonasool.

Insektitsiid tau-fluvalinaat avaldas mesilasemadele oodatust palju väiksemat mõju või toimis üldse vastupidiselt. Kontrolltööstlusest on tau-fluvalinaadiga töötlus olnud 10% parem nii vastuvõtu kui koorumise puhul. Lisaks ei muutunud tau-fluvalinaadi toime mesilasemade kehamass. Tekib küsimus, miks insektitsiid ei avaldanud mesilasemadele negatiivset mõju? Ameerika teadlased leidsid, et just mesilasemad suudavad üsna edukalt taluda ka suuri koguseid tau-fluvalinaati. Teadlased pakkusid põhjuseks välja mesilaste genoomis leiduva P450. Nagu eelnevalt mainitud, siis see aitab vähendada tau-fluvalinaadi toksilisust [17, 58]. Põhjuseks võib olla näiteks, et mesilasemade toit on tööliste omast erinev ning mesilasema toitepiim võib anda emaks arenevale vastsele eelisolukorra. Lisaks on mesilasema füüsiliselt suurem, seega ta organsim kannatab suuremaid pestitsiidide koguseid. Samas Mattila *et al.* teadustööst saab leida, et tau-fluvalinaat avaldas suurt negatiivset mõju haudme ellujäämusele [65].

Tulemustest selgus, et pestitsiidide jäägid liiguvad emakuppudest edasi toitepiima, kuid enamasti sealt edasi mitte. Pestitsiidide jäägid on levinud edasi nii üksikult kui ka segus. Tebukonasooli tuvastati emakupus, millest 40% levis edasi mesilasema toitepiima. Kahe pestitsiidi segu on aga veelgi paremini edasi liikunud. Tau-fluvalinaat jõudis segus olles emakuppudest edasi toitepiima ning tuvastamiskiirul olev kogus jõudis ka haudmesse ehk 0,014 mg/kg⁻¹. Huvitav on, et miks pestitsiidid üldjuhul edasi vakladele ja uutele valmikutele ei liikunud. Siinsed katsetulemused kinnitab ka Bischoff *et al.* tehtud katse, kus mesilaspere toideti pestitsiidide jääke sisaldava õietolmuga [20]. Leiti, et söödetud õietolmust töomesilaste toitepiima jõuab vaid 0,0009% kuni 0,0061% pestitsiidide jääkide kogu summast. Ülekantud kogused sõltusid haudme vanusest, nooremas haudmes oli vähem pestitsiide, kuid vanemas oli rohkem jääke. Bischoff *et al* ei osanud tuua ühtegi põhjendust miks nii juhtus, sest probleemi pole piisavalt uuritud [20]. Bischoff *et al* katse erineb küll mõne võrra antud töö katsest, kuid paralleele saab tuua sellegipoolest. Mõlemi töö puhul jääb ilmselt suur osa pestitsiidide jääke mesilasvahas pidama ning ei liigu edasi, kuid mõni teine teadustöö väidab vastupidist. Hispaania teadlaste töös jälgitakse tau-fluvalinaadi liikumist vahast suira ja sealt haudmesse [47]. Katsest nähtus, et vaha esialgselt kogusest levis edasi suira vaid mõni protsent fluvalinaati, sealt omakorda edasi haudmesse aga veelgi vähem pestitsiidi jääki [47]. Jällegi katse ei ole üks ühele, kuid väga sarnane käesoleva bakalaureusetööga. Jääb selguseta, miks käesolevas töös pestitsiidide jäägid nii aktiivselt edasi ei liikunud nagu mõnes teises teadustöös [43, 46, 66].

Käesoleva töö kõige ootamatum tulemus on kindlasti see, kuidas emakuppu on töödeldud tebukonasooliga, kuid proovidest leiti ka tau-fluvalinaadi jälgi. Kogused olid väga väikesed 0,01–0,02 mg/kg⁻¹, kuid sellegipoolest tuvastatavad. Pestitsiidi kogused toitepiimas vähenevad ja siis uuesti haudmes ja valmikutes pisut suurenevad. Olukord võib tingitud olla ka lihtsast mõõtnisveast, mis väga väikeste koguste juures on võimalik. Samas on ka võimalik, et olukorra tingis toitepiima ja haudme erinev keemiline koostis, mis nagu teada, mõjutavad pestitsiidide liikumist [13, 40, 64]. Või hoopiski sama probleem, mis esines Itaalia mesinikel [6], kus mahetarudesse jõudsid pestitsiidide jäägid, kuna nad kasutasid tava tavamesinduses kasutatavat vaha. 1999. aastal uuris üks saksa teadlane, kuidas taru siseselt kannavad mesilased jalgade ja kehaga edasi lipofiilseid pestitsiide nagu näiteks tau-fluvalinaat. Tulemused olid positiivsed ning teadlane järeldas, et kuna kogu taru sisepind on kaetud õhukese vahakihi, siis liiguvad lipofiilsed pestitsiidid väga edukalt edasi mistahes mesindussaadustele [77]. Lisaks ka Itaalia teadlased uurisid seoseid, kuidas üleminekul tavamesindusest mahemesindusele liiguvad pestitsiidide jäägid. Leiti, et kolmest ülemineku aastast ei piisa, sest pestitsiidid olid ikka veel leitavad kärjeraamidelt ja mujalt tarust isegi, et otsene kokkupuude saastunud ja puhtal raamil puudus [31]. Antud töös võis esineda samasugune loogika, kus mesilased tassid oma kehaga pestitsiidide jääke haudmele ja mesilasemadele juurde. Võimalik, et mesilased, kes emakuppe kasvasid, käisid vahepeal mõnel põllul või aias, kus oli tau-fluvalinaati kasutatud ja tassid selle jäägid tarru. Arvestada tuleb asjaoluga, et mesilasema toitepiim puutub ajaliselt vähem kokku saastunud vahaga, sel ajal kui haue ja mesilasemad arenevad paar nädalat kärjeraamides.

Taolist mesilasemade arengu ja pestitsiidide levikut materjalide vahel uurivat katset, kus on insektitsiid (tau-fluvalinaat) ja fungitsiid (tebukonasool) ei ole teadaolevalt tehtud. Selline lähenemine vajab veel edaspidist uurimist, kuna pestitsiide on väga erinevaid. Käesolevas töös jõuti järeldusele, et pestitsiidid– tau-fluvalinaat ja tebukonasool levivad mesindussaaduste vahel teatud määral edasi. Intensiivsemalt levivad need kaks ainet edasi segus. Autorile üllatuslikult ei levinud pestitsiidid mesilasvahast vakladesse ega valmikutesse, kuigi nad arenesid saastunud vaha sees. Antud töö teine osa uuris tau-fluvalinaadi ja tebukonasooli mõju mesilasema arengule. Samuti tekkis kahe aine vahel sünergia, mis mõjus väga negatiivselt mesilasema vastuvõtule ammperes ning koorumisele. Kuid huvitaval kombel üksikult need pestitsiidid tõstsid vastuvõtu ja

koorumise tõenäosust. Saab eeldada, et mesilased tulevad toime eraldiseisvate pestitsiididejääkidega.

KOKKUVÕTE

Meemesilaste (*Apis mellifera*) arvukus on viimastel aastakümnetel langenud kogu maailmas: Euroopas, Aasias, Põhja- ja Lõuna-Ameerikas. Talvitumist ei suuda arvestatav osa mesilasperedest üle elada, kuna nad on liiga nõrgad. Arvukuse languse põhjusteks on pakutud näiteks: haigused, parasiidid, nõrgad mesilasemad, kliimamuutused ja pestitsiidid. Pestitsiidid leiavad põllumajanduses üha laialdasemat kasutust ning on kandunud põldudelt ka loodusmaastikele. Mesilased kannavad korjel käies saadud pestitsiidi jäägid tarru ning sealne vahane keskkond soodustab pestitsiidi jääkide liikumist mesilassaaduste vahel. Antud töö eesmärgiks oli uurida, mil määral liiguvad emakuppude vahast edasi tau-fluvalinaat ja tebukonasool ning kuidas see mõjutab mesilasemade arengut. Need kaks pestitsiidi on ühed enam levinumad toimeained põllumajanduses ja konsentratsioonid olid valitud vastavalt Eestis tarudest leitule.

Mahevahast valmistati kunstlikult mesilasema kupud, kuhu segati erinevates konsentratsioonides ja segudes sisse tau-fluvalinaati ja tebukonasooli. Saastatud emakuppudesse vageldati 1 päeva vanused töölishaudme vaglad ning kupud asetati ammperre. Proove võeti mesilavahast, mesilasema toitepiimast, mesilasema vaglast ja valmikust ning lisaks kaaluti koorunud mesilasemad.

Uurimistöö tulemusena selgus, et pestitsiidide jäägid kanduvad mesilavahast mõningal määral edasi teistesse mesindussaadustesse ning need mõjutavad mesilasema vastuvõttu ja kaalu. Tau-fluvalinaadi ja tebukonasooli segu liikus mesilavahast edasi toitepiima, kuid sealt vakladesse ega valmikutesse mitte. Väiksemates kogustes ja eraldiseisvalt liikus edasi vaid tebukonasool, kuid tau-fluvalinaat ei liikunud mesilavahast toitepiima. Teisalt avaldas kahe aine segu olulist mõju emakuppude vastuvõtule ammperes. Koostoimes mõjuvad tebukonasool ja tau-fluvalinaat negatiivsemalt mesilasemadele ning liiguvad edukamalt edasi mesindussaaduste vahel.

Antud töö põhjal saab väita, et pestitsiidid ei avalda mesilasemadele negatiivset mõju, kui nad esinevad eraldi. Tebukonasooli ja tau-fluvalinaadi segu aga mõjub palju negatiivsemalt. Hulгимүүгист ostetud tavavahast kärgedes võivad need ained kokku sattuda ja probleeme põhjustada. Usaldusväärsem on kindlasti mahevaha. Teisalt levisid

mesindussaaduste vahel üsna kesiselt edasi tebukonasool ja tau-fluvalinaat. See annab lootust, et mesilased tulevad väikeste pestitsiidijääkide kogustega toime. Toimetulek on oluline, sest keskkonnast need ained nii pea veel ära ei kao.

KASUTATUD KIRJANDUS

1. **Aaron, J.J., Gaye-Seye, M.D., Irace-Guigand, S., Leverend, E.** (2005). A new on-line micellar-enhanced photochemically-induced fluorescence method for determination of phenylurea herbicide residues in water. – *Luminescence*, Vol. 20, Is. 3, pp. 138-142.
2. **Akyol, E., Okuyan, S.** (2018). The Effects of Age and Number of Grafted Larvae on Some Physical Characteristics of Queen Bees and Acceptance Rate of Queen Bee Cell. – *Turkish Journal of Agriculture - Food Science and Technology*, Vol. 6, No. 11, pp. 1556-1561.
3. **Albrecht, M., Holway, D.A., Hung, K.-L. J., Kingston, J.M., Kohn, J.R.** (2018). The worldwide importance of honey bees as pollinators in natural habitats. – *Proceedings of the Royal Society B*, Vol. 285, Is. 1870.
4. **Alkassab, A.T., Kirchner, W.H.** (2016). Sublethal exposure to neonicotinoids and related side effects on insect pollinators: honeybees, bumblebees, and solitary bees. – *Journal of Plant Diseases and Protection*, Vol. 124, pp. 1-30.
5. **Amdam, G.V., de Jong, D., de Souza, D.A., Kaftanoglu, O., Page, R.E., Wang, Y.** (2018). Differences in the morphology, physiology and gene expression of honey bee queens and workers reared in vitro versus in situ. – *BiologyOpen*, Vol. 7, Is. 11.
6. **Amorena, M., Conte, A., Fenucci, S., Perugini, M., Tulini, S.M.R., Zezza, D.** (2018). Occurrence of agrochemical residues in beeswax samples collected in Italy during 2013–2015. – *Science of the Total Environment*, Vol. 625, pp. 470-476.
7. **Andrews, E.** (2019). To save the bees or not to save the bees: honey bee health in the Anthropocene. – *Agriculture and Human Values*, Vol. 36, pp. 891-902.
8. **Aqueel, M.A., Arshad, M., Bakar, M.A., Mahmood, R., Qadir, Z.A., Raza, A.B.M.** (2018). Comparative Efficacy of Five Commercial Synthetic Acaricides against Varroa destructor (Anderson and Trueman) in Apis mellifera L. Colonies. – *Pakistan Journal of Zoology (PJZ)*, Vol. 50, No. 3, pp. 857-861.
9. **Ashcraft, S., Frazier, J.L., Frazier, M., Mullin, C.A., et al.** (2010). High Levels of Miticides and Agrochemicals in North American Apiaries: Implications for Honey Bee Health. – *Plos One*, Vol. 5, Is. 3, e9754.
10. **Avram, L.E., Borin, A., Gallina, A., Manzinello, C., Martinello, M., et al.** (2020). A Survey from 2015 to 2019 to Investigate the Occurrence of Pesticide Residues in Dead Honeybees and Other Matrices Related to Honeybee Mortality Incidents in Italy. – *Diversity*, Vol. 12, Is. 1, pp. 15-31.

11. **Bacandritsos, N., Budge, G., Caldon, M., Falcaro, C., Gallina, A., et al.** (2010). Sudden deaths and colony population decline in Greek honey bee colonies. – *Journal of Invertebrate Pathology*, Vol. 105, Is. 3, pp. 335-340.
12. **Baert, N., Bluher, S.E., Böröczky, K., McArt, S.H., Ramos, M., Urbanowicz, C.** (2019). Low maize pollen collection and low pesticide risk to honey bees in heterogeneous agricultural landscapes. – *Apidologie*, Vol. 50, Is. 3, pp. 379-390.
13. **Barel, S., Bommuraj, V., Borisover, M., Chen, Y., Massarwa, M., Shimshoni, J.A., Sperling, R.** (2019). Pesticide distribution and depletion kinetic determination in honey and beeswax: Model for pesticide occurrence and distribution in beehive products. – *Plos One*, Vol. 14, Is. 2, e0212631.
14. **Barganska, Z., Namiesnik, J., Slebioda, M.** (2013). Pesticide residues levels in honey from apiaries located of Northern Poland. – *Food Control*, Vol. 31, Is. 1, pp. 196-201.
15. **Belt, M., Costanza, R., D'Arge, R., De Groot, R., Farber, S., et al.** (1997). The value of the world's ecosystem services and natural capital. – *Nature*, Vol. 387, pp. 253-260.
16. **Berenbaum, M.R., Johnson, R.M., Pollock, H.S.** (2009). Synergistic Interactions Between In-Hive Miticides in *Apis mellifera*. – *Journal of Economic Entomology*, Vol. 102, Is. 2, pp. 474-479.
17. **Berenbaum, M.R., Mao, W., Schuler, M.A.** (2011). CYP9Q-mediated detoxification of acaricides in the honey bee (*Apis mellifera*). – *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, Vol.108, No. 31, pp. 12657-12662.
18. **Bergamo, G.C., Castilhos, D., Goncalves, L.S., Gramacho, K.P.** (2019). Bee colony losses in Brazil: a 5-year online survey. – *Apidologie*, Vol. 50, pp. 263-272.
19. **Berry, J.A., Delaplane, K.S., Hood, W.M., Pietravalle, S.** (2013). Field-Level Sublethal Effects of Approved Bee Hive Chemicals on Honey Bees (*Apis mellifera* L.). – *Plos One*, Vol. 8, Is. 10, e76536.
20. **Bischoff, G., Böhme, F., Rosenkranz, P., Zebitz, C.P.W., Wallner, K.** (2019). From field to food II – will pesticide-contaminated pollen diet lead to a contamination of worker jelly? – *Journal of Apicultural Research*, Vol. 58, No. 4, pp. 542-549.
21. **Bobre, A., Miszczak, A., Pohorecka, K., Semkiw, p., Skubida, P., et al.** (2012). Residues of Neonicotinoid Insecticides in Bee Collected Plant Materials from Oilseed Rape Crops and their Effect on Bee Colonies. – *Journal of Apicultural Science*, Vol. 56, No. 2, pp. 115-134.
22. **Breece, C.R., Sagili, R.R.** (2012). Effects of Brood Pheromone (SuperBoost) on Consumption of Protein Supplement and Growth of Honey Bee (Hymenoptera: Apidae) Colonies During Fall in a Northern Temperate Climate. – *Journal of Economic Entomology*, Vol. 105, Is. 4, pp. 1134-1138.

23. **Brodschneider, R., Oberreiter, H.** (2020). Austrian COLOSS Survey of Honey Bee Colony Winter Losses 2018/19 and Analysis of Hive Management Practices. – *Diversity*, Vol. 12, Is. 3, pp. 99-126.
24. **Bruneau, E., Hautier, L., Minsart, L.-A., Mouret, C., San Martin, G., Simon-Delson, N.** (2014). Honeybee Colony Disorder in Crop Areas: The Role of Pesticides and Viruses. – *Plos One*, Vol. 9, Is. 7, e103073.
25. **Buchmann, S., Ingram, M., Nabhan, G.** (1996). Our Forgotten Pollinators: Protecting the Birds and Bees. – *Global Pesticide Campaigner*, Vol. 6, No.4, pp. 1-12.
26. **Bulcke, R., Cougnon, M., Devos, Y., Haesaert, G., Reheul, D., Steurbaut, W., Vergucht, S.** (2008). Environmental impact of herbicide regimes used with genetically modified herbicide-resistant maize. – *Transgenic Research*, Vol. 17, pp. 1059-1077.
27. **Cao, L., Hu, F., Huang, S., Neumann, P., Zheng, H.** (2018). Current Status of the Beekeeping Industry in China. – *Asian Beekeeping in the 21st Century*, pp. 129-158.
28. **Cha, B., Kim, J.-C., Yoon, M.-Y.** (2013). Recent Trends in Studies on Botanical Fungicides in Agriculture. – *The Plant Pathology Journal*, Vol. 29, No. 1, pp. 1-9.
29. **Chen, C., Liu, Z., Niu, Q., Qi, W., Su, S., Yuan, C., et al.** (2016). Survey results of honey bee (*Apis mellifera*) colony losses in China (2010–2013). – *Journal of Apicultural Research*, Vol. 55, No. 1, pp. 29-37.
30. **Collins, A.M., Feldlaufer, M.F., Pettis, J.S., Wilbanks, R.** (2004). Performance of honey bee (*Apis mellifera*) queens reared in beeswax cells impregnated with coumaphos. – *Journal of Apicultural Research*, Vol. 43, Is. 3, pp. 128-134.
31. **Colombo, R., Costa, C., Lodesani, M., Sabatini, A.G., Serra, G.** (2008). Acaricide residues in beeswax after conversion to organic beekeeping methods. – *Apidologie*, Vol. 39, No. 3, pp. 324-333.
32. **De Graaf, D.C., Ravoet, J., Reybroeck, W.** (2015). Pesticides for Apicultural and/or Agricultural Application Found in Belgian Honey Bee Wax Combs. – *Bull of Environ Contam and Toxicology*, Vol. 94, Is. 5, pp. 543-548.
33. **De Mirana, J.R., Forsgren, E., Fries, I., Locke, B.** (2012). Acaricide Treatment Affects Viral Dynamics in Varroa destructor Infested Honey Bee Colonies via both Host Physiology and Mite Control. – *Applied and Environmental Microbiology*, Vol. 78, No. 1, pp. 227-235.
34. **Decourtye, A., Devillers, J.** (2010). Ecotoxicity of Neonicotinoid Insecticides to Bees. – *Insect Nicotinic Acetylcholine Receptors*, Vol. 683, No. 8, pp. 85-95.
35. **Delaplane, K.S., Pettis, J.S.** (2010). Coordinated responses to honey bee decline in the USA. – *Apidologie*, Vol. 41, No. 3, pp. 256-263.
36. **Drossart, M., Michez, D., Neumann, P., Paxton, R.J., Wood, T.J., et al.** (2020). Managed honey bees as a radar for wild bee decline? – *Apidologie*, Vol. 51, Is. 6, pp. 1100-1116.

37. **Döke, M.A., Frazier, M., Grozinger, C.** (2015). Overwintering honey bees: biology and management. – *Current Opinion in Insect Science*, Vol. 10, pp. 185-193.
38. **El Agrebi, N., Danneels, E., Traynor, K., Tosi, S., Wilmart, O., et al.** (2020). Pesticide and veterinary drug residues in Belgian beeswax: Occurrence, toxicity, and risk to honey bees. – *Science of the Total Environment*, Vol. 745, 141036.
39. **El Agrebi, N., Danneels, E.L., de Graaf, D.C., Saegerman, C., Urbain, B., Wilmart, O.** (2019). Belgian case study on flumethrin residues in beeswax: Possible impact on honeybee and prediction of the maximum daily intake for consumers. – *Science of the Total Environment*, Vol. 687, pp. 712-719.
40. **El Agrebi, N., de Graaf, D.C., Saegerman, C., Scippo, M.-L., Tosi, S., Wilmart, O.** (2020). Honeybee and consumer's exposure and risk characterisation to glyphosate-based herbicide (GBH) and its degradation product (AMPA): Residues in beebread, wax, and honey. – *Science of The Total Environment*, Vol. 704, 135312.
41. **Ellis, M., Le Conte, Y., Ritter, W.** (2010). Varroa mites and honey bee health: can Varroa explain part of the colony losses? – *Apidologie*, Vol. 41, No. 3, pp. 353-363.
42. **Faucon, J.-P., Martel, A.-C., Mathieu, L., Ribiere, M., et al.** (2002). Honey bee winter mortality in France in 1999 and 2000. – *Bee World*, Vol. 83, Is. 1, pp. 14-23.
43. **Feldlaufer, M., Kochansky, J., Wilzer, K.** (2001). Comparison of the transfer of coumaphos from beeswax into syrup and honey. – *Apidologie*, Vol. 32, No. 2, pp. 119-125.
44. **Forfert, N., Gauthier, L., Retschnig, G., Straub, L., Troxler, A., et al.** (2017). Neonicotinoid pesticides can reduce honeybee colony genetic diversity. – *Plos One*, Vol. 12, Is. 10, e0186109.
45. **Free, J.B., Racey, P.A.** (1968). The effect of the size of honeybee colonies on food consumption, brood rearing and the longevity of the bees during winter. – *Entomologia Experimentalis et Applicata*, Vol. 11, Is. 2, pp. 241-249.
46. **Fulton, C.A., Huff Hartz, K.E., Lydy, M.J., Reeve, J.D.** (2019). An Examination of Exposure Routes of Fluvalinate to Larval and Adult Honey Bees (*Apis mellifera*). – *Environmental Toxicology and Chemistry*, Vol. 38, No. 6, pp. 1356-1363.
47. **Galiano, F.J.D., Lopez, V.G., Morales, M.M., Ramos, M.J.G., Vazquez, P.P.** (2020). Distribution of chemical residues in the beehive compartments and their transfer to the honeybee brood. – *Science of The Total Environment*, Vol. 710, 136288.
48. **Gallai, N., Salles, J.-M., Settele, J., Vaissiere, B.E.** (2009). Economic valuation of the vulnerability of world agriculture confronted with pollinator decline. – *Ecological Economics*, Vol. 68, Is. 3, pp. 810-821.
49. **Genersch, E., Kaatz, H., Otten, C., Ritter, W., Schroeder, A., et al.** (2010). The German bee monitoring project: a long term study to understand periodically high winter losses of honey bee colonies. – *Apidologie*, Vol. 41, No. 3, pp. 332-352.

50. **Genersch, E., McMenamin, A.J.** (2015). Honey bee colony losses and associated viruses. – *Current Opinion in Insect Science*, Vol. 8, pp. 121-129.
51. **Gernot, V., Kächele, H., Sattler, C.** (2007). Assessing the intensity of pesticide use in agriculture. – *Agriculture, Ecosystems & Environment*, Vol. 119, Is. 3-4, pp. 299-304.
52. **Hayes jr, J., Pettis, J., Underwood, R.M., vanEngelsdorp, D.** (2008). A Survey of Honey Bee Colony Losses in the U.S., Fall 2007 to Spring 2008. – *Plos One*, Vol. 3, Is. 12, e4071.
53. Honey Bee Colony Collapse Disorder. (2010). Washington: U.S. Department of Agriculture. <https://cursa.ihmc.us/rid=1JJM69DXL-27XB9CC-12CF/bees.pdf> (25.02.2021).
54. Honey Bees: Estimating the Environmental Impact of Chemicals. (2002). / J. Devillers, M.H. Pahlm-Delegue. Taylor & Francis Group. [on-line] Taylor & Francis Group (06.05.2021).
55. **Hossain, M.M.** (2015). Recent perspective of herbicide: Review of demand and adoption in world agriculture. – *Journal of the Bangladesh Agricultural University*, Vol. 13, No. 1, pp. 19-30.
56. How herbicides work: biology to application. (1999). / H. Beckie, L. Hall, T.M. Wolt. Edmonton, Alta: Alberta Agriculture, Food and Rural Development. [on-line] Biodiversity Heritage Library (3.02.2021).
57. **J., Ellis.** (2012). The Honey Bee Crisis. – *Outlooks on Pest Management*, Vol. 23, No. 1, pp. 35-40.
58. **Kaart, T., Karise, R., Mänd, M., Raimets, R., et al.** (2018). Synergistic interactions between a variety of insecticides and an ergosterol biosynthesis inhibitor fungicide in dietary exposures of bumble bees (*Bombus terrestris* L.). – *Pest Management Science*, Vol. 74, Is. 3, pp. 541-546.
59. **Kikuchi, T., Kojima, K., Okuno, T., Takano, Y., Tanaka, C., Yoshimi, A.** (2004). Fungicide activity through activation of a fungal signalling pathway. – *Molecular Microbiology*, Vol. 53, Is. 6, pp. 1785-1796.
60. **Le Conte, Y., Navajas, M.** (2008). Climate change: Impact on honey bee populations and diseases. – *Revue scientifique et technique (International Office of Epizootics)*, Vol. 27, Is. 2, pp. 499-510.
61. **Lopez, J.E., Mussen, E.C., Peng, C.Y.S.** (2004). Effects of Selected Fungicides on Growth and Development of Larval Honey Bees, *Apis mellifera* L. (Hymenoptera: Apidae). – *Environmental Entomology*, Vol. 33, No. 5, pp. 1151-1154.
62. **Maggi, M., Mighioranza, K.S.B., Ondarza, P.M., Szawarski, N., Villalba, A.** (2020). Influence of land use on chlorpyrifos and persistent organic pollutant levels in honey bees, bee bread and honey: Beehive exposure assessment. – *Science of the Total Environment*, Vol. 719, 136554.

63. **Manachini, B., Mule, R., Robba, L., Sabella, G.** (2017). Systematic Review of the Effects of Chemical Insecticides on Four Common Butterfly Families. – *Frontiers in Environmental Science*, Vol. 5, article 32.
64. **Manning, R.** (2001). Fatty acids in pollen: a review of their importance for honey bees. – *Bee World*. Vol. 82, Is. 2, pp. 60-75.
65. **Mattila, H.R., Otis, G.W.** (2006). Influence of Pollen Diet in Spring on Development of Honey Bee (Hymenoptera: Apidae) Colonies. – *Journal of Economic Entomology*, Vol. 99, Is. 3, pp. 604-613.
66. **Milone, J.P., Tarpy, D.R.** (2021). Effects of developmental exposure to pesticides in wax and pollen on honey bee (*Apis mellifera*) queen reproductive phenotypes. – *Scientific Reports*, Vol. 11, No. 1020.
67. **Miszcza, A., Pohorecka, K., Sikorski, P., Szczesna, T., Witek, M.** (2017). The Exposure of Honey Bees to Pesticide Residues in the Hive Environment with Regard to Winter Colony Losses. – *Journal of Apicultural Science*, Vol. 61, Is. 1, pp. 105-125.
68. **Morton, V., Staub, T.** (2008). A Short History of Fungicides. – *APSnet Features*. No. 10. [e-ajakiri] <https://www.apsnet.org/edcenter/apsnetfeatures/Pages/Fungicides.aspx> (3.03.2021).
69. **Noritake, K., Takeshita, T.** (2001). Development and promotion of laborsaving application technology for paddy herbicides in Japan. – *Weed Biology and Management*, Vol. 1, Is. 1, pp. 61-70.
70. Pesticide Action Network Europe. (s.a). Pesticide Use in Europe. [veebileht] <https://www.pan-europe.info/issues/pesticide-use-europe> (18.03.2021).
71. **Sanchez-Bayo, F.** (2014). The trouble with neonicotinoids. – *Science*, Vol. 346, Is. 6211, pp. 806-807.
72. **Schmidt, H.-W., Schmuck, R., Stadler, T.** (2003). Field relevance of a synergistic effect observed in the laboratory between an EBI fungicide and a chloronicotiny insecticide in the honeybee (*Apis mellifera* L, Hymenoptera). – *Pest Management Science*, Vol. 59, Is. 3, pp. 279-286.
73. **Schulz, R., Stehle, S.** (2015). Agricultural insecticides threaten surface waters at the global scale. – *Proceedings of the National Academy of Sciences (PNAS)*, Vol. 112, No. 18, pp. 5750-5755.
74. **Snodgrass, R.E.** (1956). Anatomy of the Honey Bee. Ithaca: Cornell University Press. 356 p.
75. The potential economic and environmental impact of using current GM traits in Ukraine arable crop production. (2012). Kiev: Institute of Food Biotechnology and Genomics. https://www.pgeconomics.co.uk/pdf/GM_crops_Ukraine_EN.pdf (10.03.2021).
76. **Trdan, S.** (2013). Insecticides: Development of Safer and More Effective Technologies. London: IntechOpen Limited. 562 p.

77. **Wallner, K.** (1999). Varroacides and their residues in bee products. – *Apidologie*, Vol. 30, No. 2-3, pp. 235-248.
78. **Winston, M.L.** (1991). The Biology of the Honeybee. London: Harvard University Press. 294 p.

LISAD

Lisa 1. Lihtlitsents lõputöö salvestamiseks ja lõputöö üldsusele kättesaadavaks tegemiseks (avaldamise tähtajaline piirang) ning juhendaja(te) kinnitus töö kaitsmisele lubamise kohta

Mina, Rünno Pregel,
(*autori nimi*)
Sünniaeg 04.05.1998,

1. annan Eesti Maaülikoolile tasuta loa (lihtlitsentsi) enda koostatud lõputöö Pestitsiidijääkide mõju ja levik vahast mesilasemadeni (*lõputöö pealkiri*) mille juhendaja(d) on Risto Raimets, Reet Karise, (*juhendaja(te) nimi*)

1.1. salvestamiseks säilitamise eesmärgil,
1.2. digiarhiivi DSpace lisamiseks ja
1.3. veebikeskkonnas üldsusele kättesaadavaks tegemiseks pärast tähtajalise piirangu lõppemist kuni autoriõiguse kehtivuse tähtaja lõppemiseni;

2. olen teadlik, et punktis 1 nimetatud õigused jäävad alles ka autorile;
3. kinnitan, et lihtlitsentsi andmisega ei rikuta teiste isikute intellektuaalomandi ega isikuandmete kaitse seadusest tulenevaid õigusi.

Lõputöö autor _____
(*allkiri*)

Tartu, 18.05.2021
(*kuupäev*)

Juhendaja(te) kinnitus lõputöö kaitsmisele lubamise kohta

Luban lõputöö kaitsmisele.

<u>Risto Raimets</u>	<u>18.05.2021</u>
(<i>juhendaja nimi ja allkiri</i>)	(<i>kuupäev</i>)

<u>Reet Karise</u>	<u>18.05.2021</u>
(<i>juhendaja nimi ja allkiri</i>)	(<i>kuupäev</i>)